इस्पात का उत्पादन

hिन्दी-समिति-ग्रन्थमाला—३९

इस्पात का उत्पादन

लेखक

डा० दयास्वरूप

प्रधानाचार्य, खनन तथा धातुविज्ञान महाविद्यालय,
काशी हिन्दू विश्वविद्यालय

प्रकाशन शाखा, सूचना विभाग
उत्तर प्रदेश

प्रकाशकीय

अपनी उपयोगिता और सुलभता के कारण लोहे का प्रयोग संसार के प्राय: सभी देशों में प्राचीन काल से होता रहा है और आज तो प्राय: लोह तथा इस्पात के उत्पादन से ही किसी देश की शक्ति और समृद्धि का पता चलता है। आधुनिक सभ्यता और विकास-वैभव की इमारत ही मानो लोह तथा इस्पात के प्रचुर प्रयोग पर आधारित है। विज्ञान की उन्नति के कारण अन्यान्य धातुओं के साथ इसका मेल करना भी संभव हो सका है, अत: धातुमेलों के रूप में भी इसकी उपयोगिता एवं प्रचार बढ़ता जा रहा है। हमारा देश अभी तक इस्पात के उत्पादन की दृष्टि से बहुत पिछड़ा हुआ था, किंतु इधर हाल में इस्पात के जो तीन और बड़े कारखाने, भिलाई, रूरकेला तथा दुर्गापुर में स्थापित किये गये हैं, उनसे इस मामले में हमारे शीघ्र ही आत्म-निर्भर होने की आशा की जा सकती है। इस पृष्ठभूमि में हमारे इस प्रकाशन की उपयोगिता और महत्त्व स्वत: ही स्पष्ट है।

प्रस्तुत पुस्तक हिन्दी समिति ग्रन्थमाला का ३९वाँ पुष्प है। इसके लेखक डा० दयास्वरूप काशी हिन्दू विश्व विद्यालय में खनन एवं धातुविज्ञान महाविद्यालय के प्रधानाचार्य हैं। पिछले ३०-३२ वर्षों से आप इस विषय का अध्ययन करते रहे हैं तथा इस सिलसिले में आप अमेरिका, यूरोप, आस्ट्रेलिया आदि का भ्रमण कर चुके हैं। आपने "एलीमेंट्स आफ मेटलर्जी" नामक एक पुस्तक अंग्रेजी में लिखी है जो इस विषय का प्रारम्भिक ज्ञान प्राप्त कराने की दृष्टि से सर्वोत्तम सिद्ध हुई है। हिन्दी में आपने "धातुविज्ञान" नामक पुस्तक लिखी है, जिस पर हिन्दी समिति, उत्तर प्रदेश सरकार की ओर से एक हजार रुपये का पुरस्कार दिया गया है तथा काशी नागरी

प्रचारिणी सभा द्वारा भी यह पुस्तक पुरस्कृत हुई है। आप की एक और पुस्तक "औद्योगिक ईंधन" भी उत्तर प्रदेश सरकार द्वारा पुरस्कृत है। यह आपने अपने दो अन्य मित्रों के साथ मिलकर लिखी थी। आशा है, आपकी यह नवीन कृति भी हिन्दी में इस विषय के साहित्य की पूर्ति में अपना सम्यक् अंशदान करने में सफल होगी।

भगवतीशरण सिंह
सचिव, हिन्दी समिति

विषय-सूची

अध्याय	विषय	पृष्ठ
१.	लोह और इस्पात	१
२.	लोह और इस्पातों का वर्गीकरण	९
३.	इस्पात उत्पादन के मूल सिद्धान्त	१८
४.	लोह और इस्पात उद्योग के कच्चे पदार्थ	२७
५.	पिग लोह का उत्पादन	३६
६.	पिटवाँ लोह	७८
७.	इस्पात उत्पादन की प्रारंभिक विधियाँ	८४
८.	इस्पात उत्पादन की आधुनिक विधियाँ	९४
९.	वातीय विधियाँ	१०४
१०.	विवृत तंदूर विधियाँ	१४९
११.	विद्युत विधियाँ	१८९
१२.	द्वैध और त्रैध विधियाँ	२१६
१३.	इस्पात पिंडकों का उत्पादन	२२२
१४.	इस्पात का आकारन	२४८
१५.	इस्पात का तापोपचार	२६०
१६.	इस्पात का परीक्षण	२८४
	पारिभाषिक शब्दावली	२९८
	अनुक्रमणिका	३२९

चित्र-सूची

(तारिकांकित चित्र पृथक कागज पर छपे हैं)

१.* धातुओं के विभिन्न उपयोग — १
२.* विश्व के विभिन्न देशों का इस्पात उत्पादन — २
३. विभिन्न धातुओं का विश्व उत्पादन — ३
४. पृथ्वी की सतह का विश्लेषण — ५
५ए. शुद्ध लोह — १२
५बी. पिटवां लोह — १२
५सी. बीड या कान्तिलोह (अनिरेखित) — १२
५डी. बीड निरेखित — १२
५ई. श्वेत बीड — १३
५एफ. ४–५ प्रतिशत कार्बन इस्पात — १३
६. विभिन्न कार्बन मात्रावाली वस्तुएँ — १५
७. इस्पात की वितानशक्ति — १६
८*. भारत में पाये जाने वाले लोह अयस्क, ईंधन तथा फ्लक्स — ३४
९.* प्रवात भट्ठी का खंड — ३९
१०. कठोर तथा शंकुविन्यास — ४१
११. छोटे घंटे की विभिन्न स्थितियां — ४२
१२. प्रवात भट्ठी व स्टोव की स्थिति — ४५
१३क. उष्ण प्रवात स्टोव (गैस पर) — ४६
१३ख. उष्ण प्रवात स्टोव (हवा पर) — ४७
१४. धूलिधारक का कार्यकारी सिद्धान्त — ५१

१५.	प्रवात फर्नेस के विभिन्न प्रक्रियाक्षेत्र	५६
१६.	पिग लोह की ढलाई के लिए बनी बालू-नालियाँ	६४
१७.	बीड के मोल्डों में पिग लोह की ढलाई	६६
१८.	मलपात्र	६८
१९.	प्रधूनन फर्नेस	७९
२०.	समय तथा अशुद्धियों का निराकरण संबन्ध	८०
२१.*	एक शोधन पिटवां लोह छड़ को सज्जित करने के ढंग	८२
२२.	सीमेन्टन फर्नेस	८६
२३क.	लोह टुकड़ों को क्लिप में बांधने का ढंग	
२३ख.	बेलन रेखा का दिग्दर्शन	८८
२४.	घरिया फर्नेस	९०
२५.	आरम्भिक बैसेमर परिवर्तक	९५
२६.	हवा को ऊष्मित करने में चैकर का प्रकार्य (क)	९७
	(ख)	९८
२७.	विद्युत चाप फर्नेसों का सिद्धान्त	१००
२८क.	विद्युत उच्च प्रेरक फर्नेस	१०२
२८ख.	विद्युत निम्न प्रेरक फर्नेस	१०३
२९.	वातीय परिवर्तकों में हवा अथवा आक्सीजन धमन की तीन विधियां	१०६
३०.	बैसेमर परिवर्तक की बनावट	१०८
३१क.	विकेन्द्रित बैसेमर परिवर्तक का खंड	१०९
३१ख.	परिवर्तक नितल का खंड	१११
३२.	बैसेमर परिवर्तक की विभिन्न स्थितियां	११५
३३.*	परिवर्तक में विद्यमान कार्बन और लोह आक्साइड की मात्रा का संबन्ध	१२०
३४.	प्रकाशसेल की सहायता से बैसेमर ज्वाला नियन्त्रण	१२२
३५.	विद्युतनेत्र द्वारा अंकित ग्राफ	१२४

३६.	गरम धातु मिश्रक	१२५
३७.	क्षारीय धमन में आक्सीकरण की गति	१३२
३८.	बाजू धमित पात्र (ट्रापीनास) का खंड	१३६
३९.	एल० डी० विधि के संकेन्द्रित व विकेन्द्रित मुंहवाले पात्र	१३९
४०.	एल० डी० विधि	१४१
४१.	एल० डी० विधि में विभिन्न तत्त्वों के आक्सीकरण की विधि	१४५
४२.*	विवृत तंदूर फर्नेस का सिद्धान्त	१४९
४३.	क्षारीय विवृत तंदूर फर्नेस का खंड	१५२
४४.	विवृततंदूर फर्नेस की छतों में ईंट सज्जित करने के तरीके	१५४
४५.*	मार्गन गैस उत्पादक	१५६
४६.*	चार्जन मशीन का चार्जन धात (बक्स)	१५७
४७.	अम्लीय तंदूर फर्नेस का एक भाग	१५९
४८.	विवृत तंदूर फनस में आक्सीकरण विधि	१६६
४९.	इस्पात में विद्यमान कार्बन और आक्सीजन का सम्बन्ध	१८४
५०.	हार्टी श्यानतामापी	१८७
५१क.	विद्युत चाप फर्नेस का खंड	१९२
५१ख.	चाप फर्नेस (झुके हुए नम्य रूप में)	१९४
५२.	चाप फर्नेस में विद्युदग्रों की स्थिति	१९५
५३.*	विद्युत चाप फर्नेस में उपयुक्त विभिन्न अग्निरोधक पदार्थ	१९६
५४क.	विद्युत प्रेरक फर्नेस की मुख्य बनावट	२०८
५४ख.	प्रेरक फर्नेस के धातुकीय प्रभार में परवर्तीधारा का प्रवाह	२१०
५५.	बीड मोल्डों में इस्पात का शीर्ष प्रपूरण	२३०
५६.	इस्पात के नितल प्रपूरण की विधि	२३२
५७.	इस्पात के संपिडन का तरीका	२३५
५८.	इस्पात प्रपूरण के लिए उपयुक्त विभिन्न मोल्ड	२३७
५८क*.	इन्गट में बने मणिभों का विशेष अनस्थापन	२४२
५९.	लोह कार्बन रेखी	२५९

६०क.	डेल्टा लोह् का परमाणवीय विन्यास, (कायकेन्द्रित घनाकार)	२६१
६०ख.	गामा लोह् का परमाणवीय विन्यास, फलक केन्द्रित घनाकार	२६१
६१.	·२% कार्बन इस्पात	२६४
६२.	·८% कार्बन इस्पात	२६५
६३.	१·४% कार्बन इस्पात	२६६
६४.	आस्टेनाइट इस्पात	२७१
६५.	बेनाइट घटक	२७२
६६.	मार्टेनसाइट रचिति	२७३
६७.	सर्पवक्र	२७६
६८.	अभितापन में शीतलन की गति	२७९
६९.	सामान्यीकरण में शीतलन की गति	२८०
७०.	निर्वापण में शीतलन की गति	२८१
७१.	धातुकीय सूक्ष्मदर्शी का खंड	२८६
७२.	प्रादर्श की सतह् से प्रकाश किरणों का परावर्तन	२८७
७३.	इस्पात में विद्यमान गन्धक का एकत्रन	२८८
७४.	प्रवाह् रेखाएं	२८९
७५.	प्रवाह् रेखाएं	२९०
७६.	तनाव आयास रेखी	२९१

अध्याय १

लोह और इस्पात

वर्तमान समय में हमारे अस्तित्व और विकास के लिए धातुओं का क्या महत्त्व है, इससे सभी सुपरिचित हैं। किसी भी ओर दृष्टि डालिए, धातुओं या उनके द्वारा उत्पादित वस्तुओं का स्पष्ट प्राधान्य दिखाई पड़ता है। अनाज और कपड़े से लेकर सुख और समृद्धि के सभी प्रसाधनों का उत्पादन और कार्यक्षमता धातुओं पर ही अवलंबित है। विभिन्न प्रकार के यन्त्र, कल और कारखाने, विशालकाय पुल, द्रुतगामी वायुयान, हमारी सुपरिचित साईकिल, मोटर और रेलगाड़ी, विद्युत् का प्रकाश, रेडियो की मधुर ध्वनि, ज्ञान-विज्ञान की बातें प्रसारित करनेवाली पुस्तकें और समाचार-पत्र; सभी अलग-अलग धातुओं के बहुमुखी गुणों और उपयोगों के कारण संभव हो सके हैं (चित्र १)। आप जीवन के किसी भी पहलू पर विचार करें, सर्वत्र धातुओं को ही आधारभूत पायेंगे।

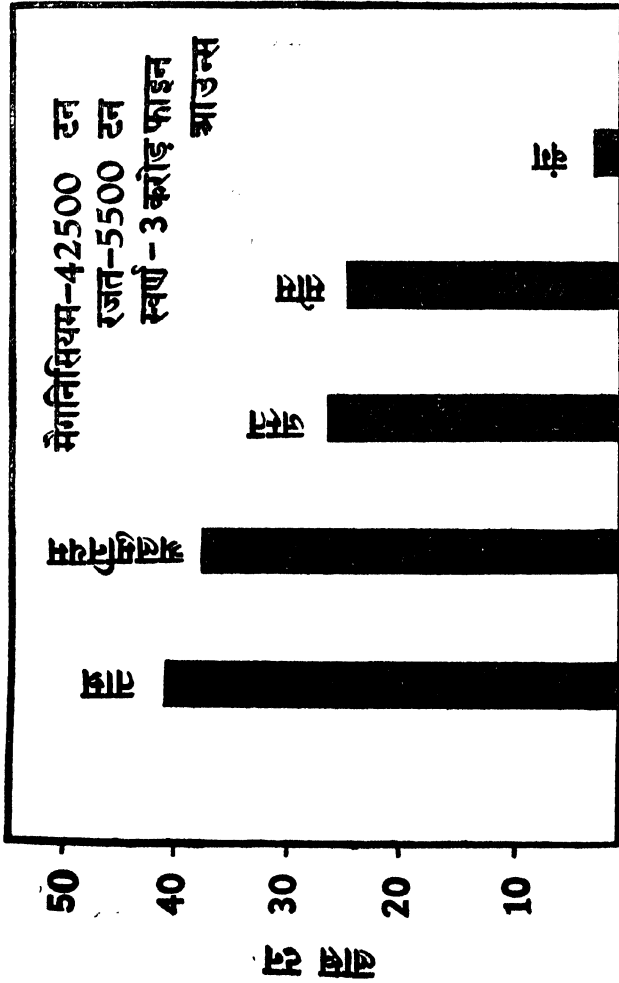
शान्तिकालीन रचनात्मक कार्यों के लिए विभिन्न धातुओं का बहुत महत्त्व है। अधिक अन्न उपजाने और कपड़ा बनाने के लिए ट्रैक्टर, नलकूप और मिलें अनेक प्रकार के धातु-अवयवों का उपयोग करती हैं। अच्छे मकान, सड़कें, व्यवस्थित और साफ-सुथरे गाँव एवं शहर धातुओं के बिना असंभव हैं। युद्ध के समय, देश की सुरक्षा और विजय के लिए धातुएँ जल, थल और वायु सेना की शक्ति हैं। यही कारण है कि विश्व में सभी देश उपयोगी धातुओं की उत्पादन-वृद्धि के लिए प्रयत्नशील रहते हैं। किसी भी देश की शक्ति और समृद्धि का संकेत उस देश में उत्पादित धातुओं से, विशेषतः लोह और इस्पात के उत्पादन से, मिलता है।

लोह और इस्पात की प्रधानता

हमारे व्यवहार में जो असंख्य वस्तुएँ आती हैं, वे प्रधानतः ९२ तत्त्वों के मेल और प्रक्रिया से बनती हैं। तत्त्वों का उनकी परमाणवीय संख्या और गुणों के आधार पर वर्गीकरण किया गया है, जिसे **आवर्त सारणी** (दे० सारणी–१) कहा जाता है। इस सारणी में देखने पर विदित होगा कि कुल तत्त्वों में दो तिहाई से अधिक धातुएँ हैं। इनमें से कुछ धातुओं से, जैसे लोह, ताम्र, सीस, वंग, एल्यूमिनियम, मैगनीशियम, जस्त और निकेल से, हमारा अधिक सम्पर्क रहता है। सामान्यतः ये आठ धातुएँ 'इन्जीनियरी धातुएँ' कहलाती हैं। और धातुओं में पारद, टन्गस्टन, क्रोमियम, मैंगनीज, मोलिब्डीनम, कैडमियम, बैरिलियम, एन्टीमनी, कोबाल्ट, टाइटेनियम, वेनेडियम और जिरकोनियम अधिक महत्त्वपूर्ण हैं। इन्हें सामान्य धातुओं के नाम से पुकारा जाता है। स्वर्ण, रजत, प्लेटिनम, रेडियम इत्यादि धातुएँ बहुमूल्य मानी जाती हैं। रासायनिक स्थिरता और निक्षेपों की विरलता इस बहुमूल्यता के प्रधान कारण हैं। इसी लिए धन और समृद्धि के द्योतक रूप में इन धातुओं का संग्रह किया जाता है।

सभी प्रकार की धातुओं का कुल वार्षिक-विश्व उत्पादन लगभग ३५ करोड़ टन है, जिसमें केवल लोह और इस्पात का उत्पादन ३० करोड़ टन से अधिक है (चित्र २)। धातुओं के कुटुम्ब में लोह और इस्पात की धानता इससे स्पष्ट हो जाती है। विभिन्न धातुओं के उत्पादन (चित्र ३), गुणों और उपयोगों को ध्यान में रखकर यदि एक पुस्तक लिखी जाय तो उसमें दो सौ पृष्ठों में लोह और इस्पात का और शेष पन्द्रह-बीस पृष्ठों में अन्य सभी धातुओं का विवरण होगा। लोह और इस्पात के इस महत्त्व और प्रधानता के कई कारण हैं—

(१) निक्षेपों की बहुलता और धातु की लध्वन[1] सरलता—अन्य

१. Reduection **अवकरण, अपक्षय**

चित्र ३—विभिन्न धातुओं का विश्व-उत्पादन

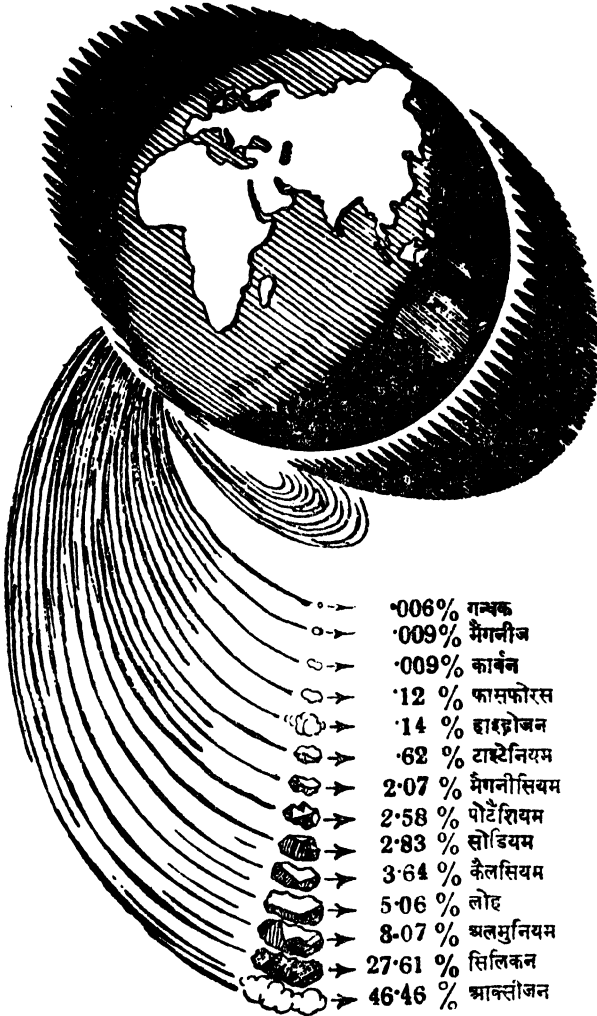
धातुओं की तुलना में लोह धातु प्रकृति में अधिक विपुलता से उपलब्ध है। लोह ओर[१] के विस्तृत निक्षेप लगभग सभी देशों में पाये गये हैं और धातु की लघ्वन सरलता के कारण अनेक शतियों पूर्व से मानव ने लोह और इस्पात का उपयोग सीख लिया था। चित्र ४ में पृथ्वी की पपड़ी का औसत विश्लेषण दिखाया गया है। धातु की लघ्वन सरलता के कारण एल्यूमिनियम की तुलना में लोह अधिक लोकप्रिय हो सका। लघ्वन की कठिनाई के कारण एल्यूमिनियम का इतिहास एक शती से अधिक पुराना नहीं है और पुंजोत्पादन में भी यह धातु लोहे और इस्पात से बहुत पीछे है।

(२) **चुम्बकत्व**—यह लोहे और इस्पात का बहुत महत्त्वपूर्ण गुण है। समस्त विद्युतीय इन्जीनियरी लोह और इस्पात के चुम्बकत्व पर आधारित है। निकेल, कोबाल्ट और मैंगनीज़ धातुओं में भी चुम्बकत्व गुण है, परन्तु लोह और इस्पात में यह सर्वाधिक है।

(३) **कम मूल्य**—विस्तृत निक्षेप और लघ्वन सरलता के कारण इस धातु का उत्पादन-मूल्य कम होता है और अनेक प्रकार के उपयोगों के लिए लोह और इस्पात सरलता से उपलब्ध हैं। यही कारण है कि लोह और इस्पात का उपयोग प्रत्येक दिशा में लोकप्रिय हो गया। यह ठीक ही कहा गया है कि हम प्राय: ऐसी किसी भी वस्तु का उपयोग नहीं करते जो लोह की न हो या लोह द्वारा उत्पादित न की गयी हो।

(४) **धातुमेलों की सुलभता और तापोपचार**—लोह अनेक प्रकार के मेलों की आधार-धातु है। कार्बन के साथ लोह धातु का मेल इस्पात के नाम से सर्वविदित है। इसी प्रकार क्रोमियम और निकेल के साथ मिलकर 'निष्कलंक इस्पात'[२] बनता है। रासायनिक उद्योगों में इसका अधिक उपयोग होता है। रसोई के बर्तनों के लिए यह मिश्र इस्पात इन

१. Iron ore **(लोह अयस्क)**

२. Stainless steel

चित्र ४—पृथ्वी की पपड़ी का विश्लेषण

दिनों बहुत लोकप्रिय हो गया है। टंगस्टन, क्रोमियम, वेनेडियम के साथ मिला देने से द्रुत-गति इस्पात प्राप्त होता है जो बहुत कठोर होता है। धातुओं के यन्त्रण में इसका बहुत उपयोग होता है। द्रुत गति पर यन्त्रण करते हुए रक्त-तप्त[1] (लाल गरम) होने पर भी इस इस्पात के बने औजारों की कठोरता में कोई अंतर नहीं आता। इस प्रकार के अनेक धातुमेल उपयोग में आ रहे हैं, जिनमें लोह आधार-धातु होता है। इनकी संख्या इस समय कई हजार है।

लोह-मेलों का तापोपचारित होकर विभिन्न गुण प्राप्त करना विशेष उल्लेखनीय है। लोह धातु में विभिन्न तापमानों पर परमाणुओं की व्यवस्था में परिवर्तन होते हैं। ये परिवर्तन भिन्न-भिन्न प्रकार के मेलों में उनके समुचित गुणों के विकास के लिए आवश्यक हैं। इन अपररूप[2] परिवर्तनों के अध्ययन और ज्ञान के लिए अनवरत गवेषणा की गयी है, जिसके फलस्वरूप अनेक उपयोगी और महत्त्वपूर्ण तथ्यों पर प्रकाश पड़ा है और नये मेल इस्पातों का प्रादुर्भाव हो सका है। भिन्न रासायनिक समासों[3] और तापोपचार विधियों की सहायता से कठोरतम और मृदु, लगभग प्रत्येक कार्य के उपयुक्त इस्पात उपलब्ध हैं। तापोपचार द्वारा गुणों में परिवर्तन और परिवर्धन इस्पात के सर्वांगीण विकास का महत्त्वपूर्ण कारण है।

(५) **आकार देने की क्षमता**—लोह और इस्पात गलाकर उपयोगी आकार में ढाले जा सकते हैं। साथ ही पीटकर, ठोककर, बेलित कर अनेक प्रकार की वस्तुओं का उत्पादन किया जाता है। प्रायः सभी प्रकार की धातुकीय और यान्त्रिक क्रियाओं द्वारा लोह और इस्पात को विभिन्न आकार देना संभव है। इस गुण के कारण लोह और इस्पात की भिन्न-भिन्न आकारों की वस्तुएँ सरलता से उपलब्ध रहती हैं।

१. Red hot
२. Allotropic
३. Formula

इसके मुख्य दोष

उपर्युक्त गुणों के कारण लोह और इस्पात ने प्रमुख स्थान ले लिया है, जिसके ऊपर सभ्यता और विकास की अट्टालिका सधी है। परन्तु कुछ ऐसे दुर्गुण भी लोह और इस्पात में विद्यमान हैं जिन पर विचार करना इस धातु के संतुलित अध्ययन के लिए आवश्यक है। दोष ये हैं—

(१) **जंग या मोर्चा लगना**—सामान्य लोहे और इस्पात में नैसर्गिक विध्वंसकों की क्रिया से मोर्चा लग जाता है और इस प्रकार प्रति वर्ष अनेक टन लोहे और इस्पात की क्षति होती है। इस प्रकार संक्षयित होना लोह और इस्पात के उपयोग में बड़ा बाधक है और इससे होनेवाली हानि का अनुमान लगाना कठिन है। लोह और इस्पात को संक्षय से बचाने के लिए अनेक विधियाँ काम में लायी जाती हैं। पेन्ट लगाकर या किसी अन्य धातु का आवरण चढ़ाकर यह प्रयत्न किया जाता है कि लोह धातु संक्षायकों के सम्पर्क में न आये। अन्यथा मिश्र इस्पात का उत्पादन किया जाता है। निष्कलंक इस्पात इसका सुपरिचित उदाहरण है। इसमें उपस्थित क्रोमियम आक्साइड की एक पतली परत सदैव इस्पात की सतह पर विद्यमान रहती है और संक्षायकों की प्रक्रिया को रोकती है।

(२) **आपेक्षिक गुरुत्व**—लोहे का आपेक्षिक गुरुत्व अधिक होने के कारण वायुयान और आवागमन के अन्य साधनों के उत्पादन में एल्यूमिनियम, मैगनीशियम इत्यादि हलकी धातुओं का अधिक व्यवहार होता है। जहाँ भी कम भार की आवश्यकता होती है, लोह और इस्पात के स्थान में अन्य हलके धातुमेल उपयोग में लाये जाते हैं।

(३) **विद्युत और ताप-चालकता**—रजत, ताम्र और एल्यूमिनियम की तुलना में लोह की विद्युत् और ताप-चालकता बहुत कम है। सारणी संख्या २ में विभिन्न धातुओं की विद्युत्-चालकता की तुलना की गयी है। इन आँकड़ों से स्पष्ट है कि विद्युत्-चालकों के उत्पादों में ताम्र और एल्यूमिनियम का अधिक उपयोग होता है। रजत का मूल्य अधिक होने के कारण उसका उपयोग नहीं किया जाता।

सारणी संख्या २

धातुओं की विद्युत्-चालकता

धातु	विद्युत् चालकता
रजत	१०६
ताम्र	१००
स्वर्ण	७२
एल्यूमिनियम	६२
मैगनीशियम	३९
जस्ता	२९
निकल	२५
कैडमियम	२३
कोबाल्ट	१८
लोह	१७
प्लैटिनम	१६
वंग	१५
सीसा	८

(४) **चिनगारी देनेवाले औजार**—इस्पात के बने औजार बहुत कठोर होते हैं, परन्तु उपयोग में उनसे चिनगारियाँ निकलती हैं। अतः विस्फोटक पदार्थों के कारखानों में और गैसीय खदानों में इन चिनगारी देनेवाले औजारों का उपयोग नहीं किया जा सकता, अन्यथा भयंकर अग्निकांड होने का भय रहता है। ऐसे स्थानों में ताम्र-बैरिलियम धातु-मेलों का उपयोग किया जाता है। इन औजारों से चिनगारियाँ नहीं निकलतीं।

लोह और इस्पात के गुणों और दोषों की विवेचना करने से यह स्पष्ट है कि अधिकांश उपयोगों में यह सर्वाधिक महत्त्वपूर्ण है। सुलभ उपलब्धि, प्रचुर वितरण, सरल लघ्वन और अन्य विशेष गुणों के संयोग ने लोह और इस्पात को प्रधान धातु बना दिया है।

अध्याय २

लोह और इस्पातों का वर्गीकरण

लोह धातु और उसके मेलों का अत्यधिक महत्त्व होने के कारण सभी देश इनका उत्पादन अधिकाधिक सीमा तक बढ़ाने में प्रयत्नशील हैं। विश्व का कुल लोह और इस्पात-उत्पादन सन् १८५० में केवल साठ हजार टन वार्षिक था, जो सन् १८७० में बढ़कर ५ लाख टन हो गया। सन् १९०० में यह २ करोड़ ८० लाख टन हो गया और इस समय इसका वार्षिक विश्व-उत्पादन ३० करोड़ टन से भी अधिक है। भारत का सन् १९५५ का उत्पादन लगभग १५ लाख टन था। इसे सन् १९६१ तक ६० लाख टन तक कर देने की योजना बनायी गयी है। किसी भी देश की प्रगति के लिए लोह और इस्पात उद्योग का समृद्ध होना आवश्यक है। इस्पात बाहर से मँगाकर उद्योगों को जीवित रखने का प्रयत्न राष्ट्र की शक्ति-हीनता का द्योतक है।

लौहिक पदार्थ

जितनी धातुकीय वस्तुओं से हमारा काम पड़ता है, वे प्रधानतः दो वर्गों में रखी जा सकती हैं। लोह धातु या उस पर आधारित सभी मेल 'लौहिक' कहलाते हैं। अन्य सभी धातुएँ और मेल 'अलौहिक' कहलाते हैं। उदाहरण के लिए इस्पात, बीड़, निष्कलंक इस्पात लौहिक पदार्थ हैं और पीतल, जरमन सिलवर, टाँका इत्यादि अलौहिक पदार्थ हैं। लौहिक पदार्थों के विवरण में निम्नलिखित शब्द विशेष रूप से प्रयुक्त होते हैं, इन शब्दों का सही अर्थ विषय के स्पष्ट अध्ययन के लिए आवश्यक है —

कच्चा लोह

इसे 'पिग' लोह भी कहते हैं। लोह अयस्क[1] से इस्पात के उत्पादन का यह पहला चरण है। इसका उत्पादन वात-भ्राष्ट्र[2] से होता है और संपिडन में गैसों के निष्कासन के कारण इसकी बनावट रन्ध्रमय होती है। इसमें कार्बन के अतिरिक्त और अनेक अशुद्धियाँ विद्यमान रहती हैं। इनके कारण गिरने पर यह लोह जल्दी टूट जाता है और इसी लिए कच्चा लोह कहलाता है। 'पिग लोह' शब्द की उत्पत्ति बड़ी हास्यास्पद है। कुछ शतियों पूर्व वात-भ्राष्ट्र से निकलती हुई गलित लोह की मोटी धारा को, उसके दोनों ओर रेत में बनी छोटी नालियों में संपिडित किया जाता था। उस पर से उपमा चल निकली; मानो शूकरी (पिग)[3] भूमि पर लेटकर बच्चों को स्तनपान करा रही हो। तभी से 'पिग लोह' शब्द चल निकला। वर्तमान समय में वात-भ्राष्ट्र से निकले सभी अतिरिक्त लोह को ढलाई संवपन मशीन[4] द्वारा होती है, परन्तु फिर भी 'पिग लोह' शब्द ही व्यवहृत होता है। इस विषय पर हम आगे और विस्तार से विचार करेंगे।

बोड़

इसे 'कान्ति लोह' या 'ढलवाँ लोह' भी कहते हैं। साधारणतः कच्चे लोह और बोड़ में रासायनिक दृष्टि से कोई अन्तर नहीं होता। कच्चे लोह को चून पत्थर और कोक के साथ कुपला भट्ठी में गलाया जाता है और फिर उपयुक्त आकार के मोल्डों में ढाल दिया जाता है। पिग लोह की तुलना में इस गलित धातु में विलयित गैसों की कमी और मोल्डों से संपिडन के समय उनके निष्कासन की सुविधा के कारण ढलवाँ लोह के आकार रन्ध्रों से मुक्त रहते हैं। इनका मूल्य इस्पात से कम रहता है, इस कारण मशीनों

१. Ore २. Blast furnace

३. अंग्रेजी में 'पिग' का अर्थ शूकर भी है।

४. Casting machine ढलाई मशीन

के वे सभी भाग, जिन्हें अचानक चोट लगने का डर नहीं रहता, बीड़ के बनाये जाते हैं। इस्पात की तुलना में बीड़ की अवमन्दन क्षमता[1] अच्छी होने के कारण मशीनों के आधार-पट्ट भी बीड़ के बनाये जाते हैं। बीड़ को गलाना और ढालना अपेक्षाकृत सरल है, परन्तु अशुद्धियों के कारण अचानक चोट लगने पर बीड़ के खंडित होने की संभावना रहती है।

पिटवाँ लोह

इस्पात के उत्पादन में उच्च तापमान की आवश्यकता होती है, जिससे धातु और मल गलित होकर अलग अलग हो जाते हैं। यदि तापमान कम हो तो लोह और मल का पृथक्करण पूर्ण नहीं होता। इस प्रकार का लोह भट्ठी से लेपी दशा में प्राप्त होता है और पीटकर आकारित किया जाता है। पुराने समय में जब ईंधन और भट्ठी विज्ञान ने उन्नति नहीं की थी और इस्पात को गला देनेवाला तापमान पाना संभव नहीं था, तब पिटवाँ लोह बीड़ की तुलना में अधिक अभंजनशील और लचीला होने के कारण व्यवहार में लोकप्रिय था। अब इसका उत्पादन नगण्य सा हो गया है, कारण कि अच्छे गुणोंवाले अनेक किस्म के इस्पात अधिक सरलता और कम व्यय में उत्पादित किये जा सकते हैं। चित्र ५ में शुद्ध लोह, बीड़, पिटवाँ लोह और सामान्य कार्बन इस्पातों की सूक्ष्मदर्शी से स्पष्ट होनेवाली बनावट दिखायी गयी है। बीड़ की बनावट में ग्रेफाइट की धारियाँ और पिटवाँ लोह की बनावट में मल के रेशे स्पष्ट दिखाई पड़ते हैं।

इस्पात

इसे फौलाद भी कहते हैं। स्पष्ट ही यह शब्द लोह की तुलना में अधिक शक्ति और दृढ़ता का प्रतीक है। प्रधानत: यह लोह और कार्बन का धातुमेल है। धातुमेल में दो प्रतिशत कार्बन की मात्रा तक इस्पात कहा जाता है। इससे अधिक कार्बन की मात्रा होने पर अर्ध इस्पात और फिर

१. Damping capacity

बीड़ कहलाता है। इस्पात में कार्बन प्रधानतः लोह् यौगिक के रूप में और कुछ विलयन में रहता है। इससे इस्पात को शक्ति, कठोरता और दृढता मिलती है। कार्बन की अत्यधिक मात्रा हो जाने पर या तो लोह् कार्बन यौगिक की मात्रा बहुत बढ़ जाती है, अन्यथा ग्रेफाइट धारियों के रूप में

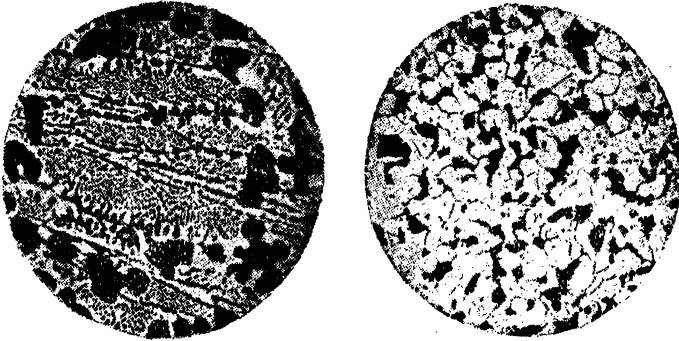
चित्र ५ ए—शुद्ध लोह्

चित्र ५ बी—पिटवाँ लोह्

चित्र ५ सी—बीड

चित्र ५ डी—बीड निरेखित

मुक्त कार्बन निकल आता है। इस प्रकार धातुमेल भंजनशील हो जाता है। चित्र ५ एफ में काले भाग लोह् और लोह्-यौगिक (जिसे 'सीमेन्टाइट' कहते

हैं) के सम्मिश्रण हैं। इस्पात में कार्बन के अतिरिक्त अल्प मात्रा में सिलिकन, मैंगनीज़, गंधक और फास्फोरस भी विद्यमान रहते हैं।

चित्र ५ ई—श्वेत बीड **चित्र ५ एफ—·४-५ प्रतिशत कार्बन इस्पात**

लोह और कार्बन के मेल से इस्पात की शक्ति और कठोरता में वृद्धि होती है। कार्बन की मात्रा को ध्यान में रखते हुए इस्पात के गुणों पर आधारित निम्नलिखित वर्गीकरण व्यवहार में लाया जाता है—

कम कार्बन इस्पात—इस वर्ग के इस्पातों में कार्बन की मात्रा ०·४ प्रतिशत तक समझनी चाहिए। जंजीर, चद्दर, पुल इत्यादि में व्यवहृत इस्पात इसी वर्ग के होते हैं। दृढता और शक्ति के साथ तन्यता[1] और घनवर्धनीयता का संयोग इनका विशेष गुण है।

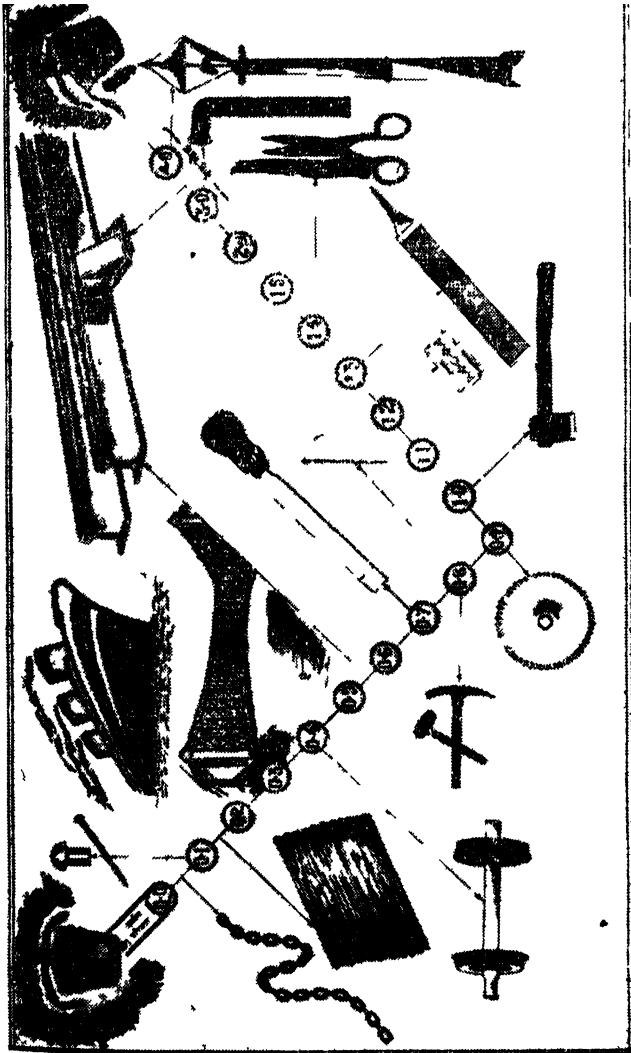
मध्यम कार्बन इस्पात—इस वर्ग के इस्पातों से हमारा सबसे अधिक परिचय होता है। व्यवहार में इन्हीं का अधिकतम उपयोग होता है। जब कभी केवल इस्पात का उल्लेख किया जाय, इस वर्ग का पर्यायवाची समझना चाहिए। इसमें कार्बन की मात्रा ०·३५ या ०·४ प्रतिशत से ०·६५ या ०·७ प्रतिशत तक समझनी चाहिए। इन्जीनियर इसी वर्ग के इस्पातों का अधिक उपयोग करते हैं। रेल की पाँतें, चाक, गर्डर, पेच

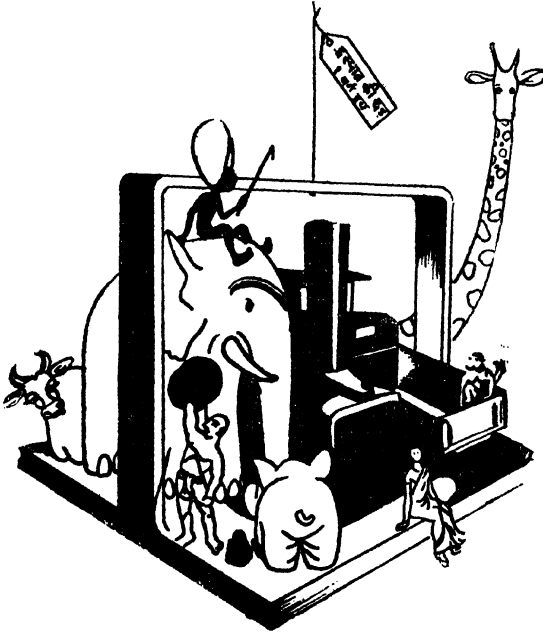
१. Duetility

इत्यादि दैनिक व्यवहार में आनेवाली अधिकांश वस्तुओं में कार्बन की मात्रा मध्यम होती है। कम कार्बन इस्पातों की तुलना में इनकी शक्ति, दृढ़ता और कठोरता अधिक होती है।

उच्च कार्बन इस्पात—इस्पात को यदि लाल गरम कर ठंडे पानी में बुझा दिया जाय तो उसकी कठोरता में वृद्धि होती है। इस प्रकार बुझने पर कठोर होना इस्पात का अत्यन्त महत्त्वपूर्ण गुण है। इस्पात में कठोरता की अभिवृद्धि कार्बन की मात्रा पर अवलंबित है। जितनी अधिक कार्बन की मात्रा होगी, बुझने पर इस्पात उतना ही अधिक कठोर होगा। अल्प कार्बन इस्पात और मध्यम कार्बन इस्पातों को लाल गरम कर बुझाने से कठोरता में बहुत अधिक वृद्धि नहीं होती। उच्च कार्बन इस्पातों को बुझाने पर शक्ति और कठोरता कई गुनी बढ़ जाती है, पर साथ ही भंजनशीलता भी बढ़ जाती है। उच्च कार्बन इस्पातों का मुख्य उपयोग कठोर औजार बनाने में होता है। दैनिक व्यवहार में आनेवाली वस्तुओं में कुदाल, फरसा, बढ़ई के औजार, सूई, कैंची इत्यादि में उच्च कार्बन इस्पात व्यवहृत होता है। इसमें कार्बन की मात्रा ०·७ से २ प्रतिशत तक होती है। चित्र ६ में भिन्न-भिन्न कार्बन मात्रा वाली परिचित वस्तुएँ दिखलायी गयी हैं। इससे अलग-अलग कार्बन मात्रा का इस्पात के उपयोग में महत्त्व स्पष्ट हो जायगा।

मेल इस्पात—लोह में कार्बन का मेल कराने पर सीधा कार्बन इस्पात बनता है। कार्बन के अतिरिक्त किसी अन्य धातु का लोह के साथ मेल होने पर मेल इस्पात कहा जाता है। मेल इस्पातों में एक साथ दो, तीन, चार या अधिक धातुएँ रहती हैं। निष्कलंक इस्पात निकेल, क्रोमियम और कार्बन का मेल होने पर बनता है। उपयोगों और गुणों को ध्यान में रखते हुए टंगस्टन वेनेडियम, मालिब्डेनम, मैंगनीज़, कोबाल्ट इत्यादि धातुओं का मेल कराने से विभिन्न इस्पातों का प्रादुर्भाव हुआ है। मेल इस्पातों को तापोपचारित करने से बहुमुखी गुण उपलब्ध हो जाते हैं।

सीधे कार्बन इस्पात को कठोर बनाने के लिए उच्च कार्बन की आवश्यकता है, परन्तु इससे भंजनशीलता भी बढ़ जाती है। वितान शक्ति और तन्यता

चित्र ६—विभिन्न कार्बन-मात्रावाली वस्तुएं

का समुचित संयोग सीधे कार्बन इस्पातों में संभव नहीं है, कारण कि ४५ टन प्रति वर्ग-इंच वितान शक्ति[1] के बाद सीधे कार्बन इस्पात की तन्यता

चित्र ७—इस्पात की वितान शक्ति

बहुत कम हो जाती है। बड़ी परिमा[2] होने से बुझाकर सीधे कार्बन इस्पात को पूर्ण कठोर नहीं बनाया जा सकता और साथ ही पानी में बुझाने के धक्के

१. Tensile strength

२. Size

के कारण इनमें दरार पड़ने और विरूपित होने की प्रवृत्ति होती है। विभिन्न धातुओं का मेल कर देने से अधिक वितान शक्ति, कठोरता और तन्यता का समन्वय संभव है। साथ ही उच्च तापमान पर शक्ति और कठोरता, संक्षय रोधन, अचुम्बकत्व इत्यादि गुणों के लिए मेल इस्पात परमावश्यक हैं। इसी कारण गत तीस वर्षों में विविध क्षेत्रों में मेल इस्पातों की माँग और खपत बहुत बढ़ गयी है। अपेक्षाकृत कम मात्रा में उत्पादित होने पर भी मेल इस्पातों का बहुत महत्त्व है। प्रत्येक विशेष कार्य और उपयोग के लिए उपयुक्त मेल इस्पात अधिक संतोषजनक सेवा करते हैं।

अध्याय ३

इस्पात-उत्पादन के मूल सिद्धान्त

हम जितनी धातुओं का उपयोग करते हैं उनमें से अधिकांश प्रकृति में यौगिकों के रूप में पायी जाती हैं। कुछ 'आदि धातु' के रूप में भी मिलती हैं। सारणी संख्या ३ में विभिन्न प्रमुख धातुओं का नैसर्गिक प्रतिरूप दिया गया है।

सारणी संख्या ३

आदि धातु	आक्साइड	सलफाइड	कार्बोनेट	सिलीकेट	क्लोराइड
स्वर्ण	लोह	ताम्र	लोह	निकेल	रजत
रजत	एल्यूमिनियम	सीस	जस्त	ताम्र	ताम्र
ताम्र	वंग	जस्त	ताम्र	जस्त	मैगनीशियम
प्लैटिनम	मैंगनीज़	निकेल	मैंगनीज़		
पारद	टंगस्टन	रजत	मैगनीशियम		
	ताम्र	एण्टीमनी	कैलसियम		
	क्रोमियम	पारद			
	वेनेडियम	कोबाल्ट			

अधिकांश धातुओं के प्रमुख स्रोत आक्साइड, सल्फाइड, कार्बोनेट, सिलिकेट और क्लोराइड यौगिक हैं। लोह-प्राप्ति के लिए आक्साइड खनिज सबसे अधिक महत्त्वपूर्ण हैं। कुछ उत्पादन कार्बोनेट और सल्फाइड खनिजों से भी होता है।

विविध धातुएँ प्रकृति में विशुद्ध धातु या विशुद्ध यौगिक के रूप में

नहीं मिलतीं। इनके साथ अलग-अलग मात्रा में मिट्टी, रेत और अन्य विजातीय यौगिक मिले रहते हैं। इन्हें दूषित पदार्थ या गैंग[1] कहते हैं। ये दूषित पदार्थ अम्लीय, क्षारीय या तटस्थ हो सकते हैं। यदि दूषित पदार्थ की मात्रा बहुत अधिक होती है तो धातु-विजय लाभदायक नहीं होती। ऐसे धातु-निक्षेपों का व्यावसायिक दृष्टि से कोई महत्त्व नहीं होता। जिन धातु-निक्षेपों में विविध धातुकीय क्रियाओं द्वारा धातु-विजय लाभदायक होती है, उन्हें 'ओर' (अयस्क) या सुखनिज कहा जाता है। किसी भी खनिज का 'ओर' होना अनेक घटकों[2] पर आधारित रहता है।

(१) **धातु की मात्रा**—खनिज में धातु की मात्रा कितनी है, यह बहुत महत्त्वपूर्ण है। भिन्न-भिन्न धातुओं के अयस्कों (ओरों) में उनकी मात्रा अलग-अलग होती है। उदाहरणार्थ लोह अयस्क में साधारणतः लोह की मात्रा ४० से ६० प्रतिशत, एल्यूमिनियम अयस्क में एल्यूमिनियम की मात्रा ३० प्रतिशत, ताम्र अयस्क में ताम्र की मात्रा १·५ से ३ प्रतिशत, जस्त अयस्क में जस्त की मात्रा १५ प्रतिशत, सीस अयस्क में सीस की मात्रा २५ प्रतिशत, स्वर्ण अयस्क में स्वर्ण की मात्रा ०·००१ प्रतिशत होती है। यहाँ तक कि यदि कहीं रेडियम की मात्रा ०·००००००१ प्रतिशत भी हो तो परम निराशावादी निर्देशक भी लाभ की आशा में नाच उठेंगे। धातु और उसकी मात्रा किसी खनिज को अयस्क (ओर) बनाने में महत्त्वपूर्ण निर्णायक हैं।

ऊपर बतलाया गया है कि लोह अयस्क में लोह को मात्रा साधारणतः ४० से ६० प्रतिशत तक होती है। इसका यह अर्थ नहीं है कि यदि कहीं खनिज निक्षेप में ४० प्रतिशत लोह हो तो वह लोह 'ओर' बन जायगा। यह अनेक बातों पर निर्भर करता है। भारत में ६० प्रतिशत से अधिक

१. Gangue **विधातु**
२. Factors

लोह की मात्रावाले निक्षेप बहुलता से उपलब्ध हैं (सारणी संख्या ४)। अतः ४० प्रतिशत लोहवाले निक्षेप 'ओर' (अयस्क) नहीं होंगे। इसके विपरीत

सारणी संख्या ४

भारतीय लोह-सुखनिज का विश्लेषण

स्थिति	खान	रासायनिक विश्लेषण (प्रतिशत में)				
		Fe	SiO_2	Al_2O_3	P	Mn
बिहार	नोआमुन्डी	५८.९	३.५९	६.०८	०.१४७	०.१४
उड़ीसा	बदाम पहाड़	५४.७	७.०६	५.८९	०.१०६	०.६१
	गुरुमहिसानी	५५.४	६.८९	६.६६	०.०८	०.८२
	जोडा	५९.६	४.३४	४.९०	०.०८	०.३०
	बड्स	६०.९२	८.०३	४.९२	०.०४	०.०५
	रोपवे	५९.१८	२.५३	५.२८	अत्यल्प	अत्यल्प
	मनोहरपुर	६१.६६	२.९०	३.६०	अत्यल्प	अत्यल्प
मैसूर	बाबा बूदन	५८.५३	२.५४	५.००	०.०५	अत्यल्प
मध्य प्रदेश	जबलपुर	६८.००	१.४३	०.२४	०.०५	०.०१

इंग्लैंड, जर्मनी और अन्य यूरोपीय देशों में ३५ से ४० प्रतिशत लोहवाले खनिजों से लोह और इस्पात का उत्पादन किया जाता है। अतः वे वहाँ 'ओर' हैं। इससे स्पष्ट है कि एक स्थान में जो निक्षेप लोह-ओर हैं, वे दूसरे स्थान या समय पर 'ओर' न माने जायँ।

(२) **निक्षेप की स्थिति**—कई बार निक्षेप की स्थिति इस प्रकार होती है कि वहाँ धातु विजय करना या खनिज दूसरी जगह ले जाना संभव या लाभदायक नहीं होता। ब्राजील के घने जंगलों में ६० से ७० प्रतिशत लोहवाले विस्तृत जमाव हैं, परन्तु आवागमन के साधनों के विकास के बिना इनका विदोहन कठिन है। इन निक्षेपों को हम आज तो 'ओर' नहीं मानते। हो सकता है कि आगे आनेवाले वर्षों में इस क्षेत्र का विकास हो

जाय और वहाँ लोह धातु का उत्पादन लाभदायक हो सके, तब निश्चय ही वे 'ओर' 'निक्षेप' कहलायेंगे।

(३) अन्य कच्चे पदार्थों की बहुलता—

अ—दक्षिण भारत में कई स्थानों में अच्छे लोह खनिजों के जमाव हैं, परन्तु वहाँ कोयले के कोई उल्लेखनीय निक्षेप नहीं हैं। इसी कारण इनमें से अधिकांश निक्षेपों का विकास नहीं किया जा सकता। जल-विद्युत और जलित कोयले की सहायता से मैसूर राज्य के भद्रावती स्थान में लोहे और इस्पात का उत्पादन होता है। मद्रास राज्य के दक्षिण अर्काट जिले में लिगनाइट के जमाव पाये गये हैं। ऐसी आशा की जाती है कि लोह और इस्पात की भट्ठियों में इसका उपयोग किया जा सकेगा। अन्य आवश्यक पदार्थों की उपलब्धि भी धातु विजय को लाभदायक बनाने के लिए आवश्यक है।

आ—हम पहले विचार कर चुके हैं कि धातुएँ या उनके यौगिक प्रकृति में दूषित पदार्थों के साथ सम्मिश्रित पाये जाते हैं। यदि दूषित पदार्थ स्वतः स्यंदक[1] होते हैं, तो धातुकीय क्रिया सरल हो जाती है और धातु का उत्पादन व्यय भी कम हो जाता है। ऐसी दशा में कम धातु मात्रावाले खनिज से धातु निकालना लाभदायक हो सकता है और वह 'ओर' हो सकती है। यूरोपीय देशों में ३५ से ४० प्रतिशत लोह वाले खनिज निक्षेपों के साथ वाले दूषित पदार्थों का स्वभाव स्वतः स्यंदक है। साथ ही उनमें फास्फोरस की मात्रा १.५ प्रतिशत है। क्षारीय बैसेमर विधि से इस्पात के उत्पादन के लिए यह आवश्यक है। स्वतः स्यंदक स्वभाव के लाभ इसी अध्याय में आगे चलकर स्पष्ट किये गये हैं। अधिक फास्फोरस की मात्रा की आवश्यकता पर क्षारीय बैसेमर विधि द्वारा इस्पात के उत्पादन में विचार किया गया है।

१. Flux-स्यन्द

धातु विजय का मूल्य—खनिज से धातु विजय करने का मूल्य अनेक बातों पर आधारित है। धातु यौगिक और उससे सम्मिश्रित दूषित पदार्थ का स्वभाव और जिन क्रियाओं तथा विधियों द्वारा धातु का उत्पादन किया जा रहा है, वे धातु विजय के मूल्य पर निर्णायिक प्रभाव डालते हैं। एक प्रकार की क्रियाओं के क्रम की तुलना में दूसरे प्रकार की विधियाँ अधिक लाभदायक हो सकती हैं। मुख्य धातु के उत्पादन के साथ-साथ कुछ महत्त्व-पूर्ण और बहुमूल्य उपजात भी प्राप्त हो सकते हैं, जिनके कारण उत्पादित मुख्य धातु की कीमत कम हो जाती है। ताम्र और सीस धातुओं के उत्पादन में स्वर्ण और रजत उपजात के रूप में प्राप्त होते हैं, जिससे मुख्य धातुओं का उत्पादन-मूल्य कम हो जाता है।

धातु का मूल्य—किसी भी खनिज से धातु निकालना लाभदायक है या नहीं, यह उस धातु के क्रय-विक्रय मूल्य पर निर्भर रहता है। स्वर्ण का मूल्य अधिक है; इसी कारण स्वल्प मात्रा में भी होने पर खनिज से स्वर्ण का उत्पादन लाभदायक होता है। धातु के मूल्य में उतार-चढ़ाव से यह संभव है कि किसी समय विशेष खनिज-निक्षेप से धातु विजय लाभदायक न रहे और धातु का उत्पादन बंद कर देना पड़े। धातुकीय विज्ञान के इतिहास में ऐसे अनेक प्रसंग मिलते हैं।

धातुओं के उत्पादन के लिए यह आवश्यक है कि अयस्क (ओर) में से दूषित पदार्थों को अलग कर यौगिक को धातु में परिवर्तित किया जाय। यदि इस क्रिया के प्रथम चरण में अशुद्ध धातु की प्राप्ति हो तो उपयुक्त विधियों द्वारा अशुद्धियों को अलग कर शोधित धातु का उत्पादन किया जाय। सभी धातुओं के उत्पादन में ये महत्त्वपूर्ण चरण हैं।

'ओर' से दूषित पदार्थ को अलग करने के लिए भौतिक और रासायनिक विधियाँ उपयोग में लायी जाती हैं। भौतिक उपायों द्वारा अधिकतम दूषित पदार्थ अलग करने की विधियों को 'अयस्क परिष्करण' कहा जाता है। यौगिक और दूषित पदार्थ के आपेक्षिक गुरुत्व, रंग और आभा, चुम्ब-कीय या विद्युतीय गुण, द्रवणांक या जल द्वारा गीले होने में अन्तर का

उपयोग कर धातु यौगिक का उन्नयन किया जाता है। इस प्रकार संकेन्द्रित करने से धातुकीय प्रद्रावण[1] का मूल्य कम हो जाता है।

रासायनिक विधियों से दूषित पदार्थ को अलग करने की प्रणाली का विस्तृत विचार आवश्यक है, कारण कि ओर से लोह और इस्पात के उत्पादन में इसका घनिष्ठ संबंध है। यह स्पष्ट किया जा चुका है कि खनिज के साथ पाये जानेवाले दूषित पदार्थ कभी अम्लीय, कभी क्षारीय और कभी तटस्थ—स्वतः फ्लक्सक होते हैं। ये दूषित पदार्थ बहुधा तापरोधक होते हैं। अतः साधारणतः ऐसे ही गलित कर इन्हें निकालने का प्रयत्न व्यावसायिक दृष्टि से युक्तिसंगत नहीं है। यदि दूषित पदार्थ का स्वभाव अम्लीय है तो अलग से लाये गये क्षारीय पदार्थ (जिन्हें फ्लक्स कहते हैं), के साथ उनका प्रद्रावण किया जाता है। अम्ल और क्षार की प्रक्रिया से बननेवाले यौगिकों का द्रवणांक कम होता है और इस प्रकार वे सरलतापूर्वक पिघलाकर निकाल दिये जाते हैं। क्षारीय दूषित पदार्थ अलग करने के लिए अम्लीय फ्लक्स उपयोग में लाये जाते हैं। अतः यह स्पष्ट है कि किसी ओर के साथवाले दूषित पदार्थ स्वभाव में स्वतः फ्लक्सक हों तो कहीं बाहर से फ्लक्स लाने की आवश्यकता नहीं रह जाती। इस प्रकार खर्च में बहुत अंतर आ जाता है। यही कारण है कि ओर में धातु की मात्रा अपेक्षाकृत कम होने पर भी स्वतः फ्लक्सक स्वभाववाले दूषित पदार्थ के कारण यूरोपीय देशों में लोह और इस्पात का उत्पादन लाभदायक हो सका है।

ओर के दूषित पदार्थों के साथ फ्लक्स की प्रक्रिया कराने के लिए अनेक प्रकार की भट्ठियाँ उपयोग में लायी जाती हैं। लोह ओर जो कि प्रधानतः आक्साइड यौगिक है, बहुधा वात-भ्राष्ट्र में प्रद्रावित किया जाता है। लोह ओर (अर्थात् लोह आक्साइड + दूषित पदार्थ), फ्लक्स को (साधारणतः चून पत्थर, कारण कि लोह ओर के साथ दूषित पदार्थ बहुधा अम्लीय होते हैं) कोक

१. Smelting

के द्वारा वात-भ्राष्ट्र में गलाया जाता है। कोक के दहन से भट्ठी के भीतर प्रचंड ताप का उद्भव होता है। साथ ही कोक के कार्बन से लोह आक्साइड लघ्वित[१] हो जाता है। इस प्रकार दूषित और फ्लक्स की क्रिया से बना मल और लघ्वित लोह धातु भट्ठी के नितल में एकत्र होते रहते हैं। धातु की तुलना में मल का आपेक्षिक गुरुत्व कम होता है और इस कारण वह अलग हो सतह पर तैरता रहता है। कार्बन के साथ कुछ और अशुद्धियाँ, जैसे मैंगनीज़, सिलिकन, फास्फोरस, गंधक इत्यादि लघ्वित होकर लोह में विलयित हो जाते हैं।

सभी ताप धातुकीय क्रियाओं में उपयुक्त प्रकार के मल का उत्पादन बहुत महत्त्वपूर्ण है। मल दूषित पदार्थ को तो अलग करता ही है, साथ में अनेक हानिकारक अशुद्धियों को धातु से अलग करने का भी वह एक मात्र साधन है। लोह-प्रद्रावण में बहुधा उचित प्रकार का क्षारीय मल बनाया जाता है जो धातु में गंधक की मात्रा कम करता है। गंधक और फास्फोरस ये दो तत्त्व इस्पात के गुणों के लिए बहुत हानिकर अशुद्धियाँ हैं। अधिक गंधक इस्पात को 'गरम हानित'[२] करता है जिससे लाल गरम इस्पात बेल्लित होने या अन्य यान्त्रिक क्रियाओं द्वारा कार्यित होने के अयोग्य हो जाता है। फास्फोरस इस्पात को 'शीतल हानित'[३] करता है जिसके कारण इस्पात ठंडी अवस्था में भंजनशील और कार्यित होने के अयोग्य हो जाता है। अच्छे इस्पात में गंधक और फास्फोरस, प्रत्येक की मात्रा .०५ प्रतिशत से कम रखी जाती है। गंधक की मात्रा वात-भ्राष्ट्र में नियन्त्रित की जाती है। फास्फोरस को घटाने के लिए इस्पात के उत्पादन में विशेष यत्न किये जाते हैं।

१. Reduced

२. Hot-short

३. Cold-short

प्रवात भट्ठी (वात-भ्राष्ट्र) से निकले लोह में गैसों के अतिरिक्त अन्य अनेक अशुद्धियाँ विलयित रहती हैं। प्रवात भट्ठी में जितने तत्त्व उच्च तापमान पर कार्बन द्वारा लघ्वित हो जाते हैं, वे सभी गलित धातु में घुल जाते हैं। आक्साइड के रूप में विद्यमान तत्त्व मल में मिल जाते हैं। स्वयं कार्बन भी अच्छे परिमाण में लोह में विलयित हो जाता है। इन तत्त्वों का कुछ भाग लोह के ठोस बन जाने पर उसमें ठोस विलयन के रूप में रहता है और शेष भाग लोह के साथ यौगिक बनाता है। इन अशुद्धियों की उपस्थिति के कारण प्रवात भट्ठी में बना पिग लोह भंजनशील और अधिकांश इन्जीनियरी उपयोगों के अयोग्य होता है। इसी लिए उसे कच्चा लोह कहा जाता है।

लोह को इस्पात में परिवर्तित करने के लिए यह आवश्यक है कि इन अतिरिक्त तत्त्वों की मात्रा पर समुचित नियन्त्रण किया जाय, जिससे इस्पात के गुणों का विकास हो सके। इस विषय में गंधक और फास्फोरस के हानिकर प्रभावों की चर्चा हम ऊपर कर चुके हैं। अच्छे इस्पात में इनमें से प्रत्येक की मात्रा .०५ प्रतिशत से कम होनी चाहिए। कार्बन, मैंगनीज और सिलिकन को भी आवश्यक सीमा तक कम किया जाता है। अलग-अलग उपयोगों में भिन्न-भिन्न गुणवाले इस्पातों का प्रयोग होता है। इस्पातों के गुण प्रधानतः उनके रासायनिक संगठन पर आधारित रहते हैं। अतः पिग लोह के इस्पात में परिवर्तन के समय अतिरिक्त तत्त्वों की मात्रा में आवश्यक कमी कर दी जाती है। यह बात ध्यान में रखनी चाहिए कि अतिरिक्त तत्त्वों की उचित मात्रा का इस्पात के गुणों पर विशेष प्रभाव पड़ता है और इस कारण उनका महत्त्व है। उन्हें पूर्णतः निकाल देने पर अपेक्षाकृत अशक्त लोह धातु बच रहेगी, जिसकी तापोपचारित और कठोरित होने की क्षमता इस्पात की तुलना में बहुत कम रहेगी। उचित मात्रा में इन तत्त्वों की उपस्थिति पर नियन्त्रण अच्छे प्रकार के इस्पात उत्पादन की कला का रहस्य है।

पिग लोह से इस्पात बनाने के लिए कच्चे पदार्थों और उनसे उत्पादित

पिग लोह के स्वभाव के अनुरूप अनेक विधियाँ व्यवहार में लायी जाती हैं। इन सभी विधियों की कार्यप्रणाली में यही मूलभूत सिद्धान्त है कि अशुद्धियों का आक्सीकरण कर या तो मल में मिला दिया जाय या गैसीय रूप में जलाकर अलग कर दिया जाय। मैंगनीज, सिलिकन और फास्फोरस को आक्सीकृत कर मल में प्रविष्ट कराया जाता है। कार्बन, मोनोक्साइड और डाईआक्साइड के रूप में भट्ठी के बाहर चली जाती है। उपर्युक्त विवरण से अशुद्धियों के निष्कासन में उचित गुण और प्रकार के मल का महत्त्व स्पष्ट है। ठीक गुणवाला मल अशुद्धियों का स्वागत करता है और अच्छे इस्पात उत्पादन का एक मात्र साधन है। इसी कारण लोह और इस्पात उद्योग में यह कहावत प्रचलित है—"इस्पात की भट्ठी में अच्छा मल बनाना ही अच्छे इस्पात का उत्पादन करना है।"

अशुद्धियों के नियन्त्रित निष्कासन से जब उचित रासायनिक संगठन-वाला इस्पात बन जाता है, तब उसे लेडिल में त्रोटित कर लेते हैं। इसके उपयुक्त आकार बनाने के लिए इसे संधानी[1] में ले जाते हैं अथवा बीड़ के मोल्डों में ढालकर सिल या पिडंक[2] तैयार किये जाते हैं। इन सिलों को 'सोखन कूपों' में गरम कर विभिन्न आकारों, जैसे रेल की पाँतें, गर्डर, लोह-कोण, छड़ इत्यादि में बेलित या गठित[3] किया जाता है।

१. Foundry **ढलाईघर**

२. Ingot

३. Rolled or forged

अध्याय ४

लोह् और इस्पात उद्योग के कच्चे पदार्थ

लोह् और इस्पात के उत्पादन में इस्पातों के प्रकारों के अनुसार विविध उपकरणों और कच्चे पदार्थों की आवश्यकता पड़ती है। इनमें निम्नलिखित कच्चे पदार्थ प्रमुख हैं—

१. लोह् ओर (अयस्क)
२. ईंधन
३. फ्लक्स
४. तापसह पदार्थ
५. लोह् मेल

लोह् ओर

व्यावसायिक दृष्टि से लोह् के आक्साइड खनिज सर्वाधिक महत्त्वपूर्ण हैं। विश्व का अधिकांश लोह् और इस्पात उत्पादन आक्साइड ओरों के प्रद्रावण से होता है। कुछ देशों में कार्बोनेट खनिज को निस्तप्त कर उसे आक्साइड में परिवर्तित किया जाता है तथा अन्यत्र लोह् सल्फाइड से गंधकाम्ल उत्पादित करने की क्रिया में जारित होकर बच रहा लोह् आक्साइड व्यवहार में लाया जाता है। नीचे प्रधान लोह् खनिजों का विवरण दिया गया है—

हेमेटाइट—$Fe_2 O_3$—यह संसार का प्रधान लोह् खनिज है। सैद्धान्तिक गणना से इसमें ७० प्रतिशत लोह् होता है। इसका आपेक्षिक गुरुत्व ४.९ से ५.३ तक होता है। हेमेटाइट सरलता से लघ्वित हो जाता है

और प्रकृति में भी अच्छे और बड़े निक्षेपों में उपलब्ध है। इन्हीं कारणों से यह लोह का प्रधान 'ओर' (अयस्क) बन गया है। संयुक्त राष्ट्र अमेरिका और भारत में यह प्रधान लोह ओर है। इसके अतिरिक्त ब्राजील और चीन देश में इस खनिज के विस्तृत निक्षेप हैं। भारत में बिहार, उत्कल, मध्यप्रदेश, मैसूर राज्य इत्यादि में इस खनिज के अच्छे निक्षेपों की कुल मात्रा एक हजार करोड़ टन से भी अधिक निर्धारित की गयी है, जिसमें लोह प्रतिशत ६० से ऊपर है। इससे कम प्रतिशत लोह वाले निक्षेपों की मात्रा असीमित है। लोह निक्षेपों के संबंध में हमारा देश बहुत भाग्यशाली है। विश्व में इतने अच्छे 'ओर' के ऐसे बड़े निक्षेप अन्यत्र कहीं भी नहीं हैं।

मैगनेटाइट—$Fe_3 O_4$—इसे लोह का चुम्बकीय खनिज भी कहते हैं। इस विशुद्ध खनिज में लोह प्रतिशत ७२.४ होता है। यह बहुधा कठोर और सघन होता है जिसके कारण इसकी लध्वन-क्षमता हेमेटाइट की तुलना में कम होती है। इसका आपेक्षिक गुरुत्व ५.१ से ५.२ तक और रंग बहुधा धूसर होता है। स्वीडन में मैगनेटाइट खनिज के अच्छे निक्षेप हैं। वहाँ के लोह और इस्पात उद्योग में इसका उपयोग किया जाता है। साथ ही समीप-वर्ती देशों को मैग्नेटाइट निर्यातित होता है। संयुक्त राष्ट्र अमेरिका और कनाडा में भी मैग्नेटाइट के जमाव हैं। दक्षिण भारत में मैग्नेटाइट खनिज के निक्षेप आर्थिक दृष्टि से महत्त्वपूर्ण हैं, परन्तु वहाँ उपयुक्त ईंधन की उपलब्धि न होने के कारण अभी तक लोह और इस्पात उद्योग का विकास नहीं हो सका है।

लिमोनाइट—$2\ Fe_2 O_3 . \times H_2 O$—इसे जलयुक्त हेमेटाइट भी कहते हैं। इस खनिज में लोह और जल का अनुपात स्थान-स्थान पर भिन्न-भिन्न हुआ करता है। यह साधारणतः नरम और रंग में हलके भूरे से काला तक होता है। इसका आपेक्षिक गुरुत्व ३.६ से ४ तक होता है। भारत में इसके काफी जमाव हैं परन्तु और अच्छे खनिजों की उपलब्धि के कारण वर्तमान में यह महत्त्वपूर्ण ओर नहीं माना जाता। प्राचीन और मध्य युगीन काल में छोटी-छोटी भट्ठियों द्वारा इससे लोह निकाला जाता था। जर्मनी,

फ्रांस और वेल्जियम की सीमा पर स्थित मिनेट और दक्षिण संयुक्त राष्ट्र अमेरिका में यह प्रधान ओर है।

सिडेराइट—Fe CO_3—सिद्धान्ततः इसमें लोह प्रतिशत ४८.२ होता है। यह लोह का कार्बोनिट ओर है और प्रवात भट्ठी में डालने के पहले इसे निस्तप्त करना आवश्यक है। इसका आपेक्षिक गुरुत्व ३.८ से ३.९ और रंग साधारणतः धूसर होता है। इंग्लैण्ड, जर्मनी, स्पेन और आस्ट्रिया में यह प्रधान लोह ओर है।

लोह पायराइट—Fe S_2—साधारणतः यह खनिज लोह उत्पादन के लिए प्रयुक्त नहीं किया जाता। परन्तु यदि इसको गंधकाम्ल के उत्पादन में जारित कर गंधक निकाल दिया जाय तो बच रहे लोह आक्साइड का प्रद्रावण किया जा सकता है। इटली में इस प्रकार के जारित पायराइट की अच्छी मात्रा लोह उत्पादन के काम में लायी जाती है।

ईंधन

'ओर' से पिग लोह का उत्पादन प्रवात भट्ठी में किया जाता है, जहाँ ईंधन आक्साइडों का लघ्वन और विधि में आवश्यक उष्मा का प्रदाय[1] करता है। प्रवात भट्ठी की औसत धारिता एक हजार टन प्रति दिन से अधिक होती है। इसमें कोयले से प्राप्त कोक का उपयोग किया जाता है। सभी प्रकार के कोयले से कोक नहीं मिलता। वे कोयले, जिनके चूर्ण को बन्द वेश्मों में लगभग ११००° से० पर तापित करने से वाष्पशील पदार्थों के निष्कासन के बाद कठोर कोक के ढेले बच रहते हैं, कोकीय कहे जाते हैं। कोयले की तुलना में कोक अधिक कठोर और सुषिर होता है। उसकी सम्पीड़न शक्ति कोयले से अधिक होती है। प्रवात भट्ठी में इन गुणों का बहुत महत्त्व है। पिग लोह के उत्पादन का वर्णन करते समय, इन गुणों के फलस्वरूप होनेवाले लाभों की विवेचना की जायगी। उत्तम धातुकीय

१. Supply

कोक की सुषिरता ३५ से ५० प्रतिशत, उष्म अर्हा ११००० से १३००० ब्रिटिश उष्मा मात्रक और समर्दन शक्ति ५०० से १००० पौंड प्रति वर्ग-इंच होनी चाहिए।

भारत में कोकीय कोयलों के निक्षेप अधिक नहीं हैं। ऐसा अनुमान किया जाता है कि हमारे कोकीय कोयलों के भण्डार लगभग ६० वर्ष में समाप्त हो जायँगे। भौमिकीय सर्वेक्षण विभाग नये निक्षेपों का पता लगाने के लिए प्रयत्नशील है। साथ ही अर्ध कोकीय कोयलों के साथ मिश्रण कर धातुकीय कोक का उत्पादन करने के प्रयत्न किये जा रहे हैं। भारत के कोकीय कोयलों में राख की मात्रा बहुत अधिक है जिसके कारण उसकी ऊष्मा क्षमता कम हो जाती है। राख की प्रतिशतता कम करने के लिए कोयलों का प्रक्षालन किया जाता है। अधिक राखवाले टुकड़े, जिनको 'शेल' कहते हैं, अलग हो जाते हैं और प्रक्षालित कोयले में कार्बन की प्रतिशतता अधिक हो जाती है।

विवृत तंदूर फर्नेसों में ईंधन के रूप में उत्पादक गैस का उपयोग किया जाता है। यह गैस जलते कोयले के प्रस्तर में वायु और वाष्प का मिश्रण भेजकर तैयार की जाती है। इसके लिए उत्तम गैसीय कोयलों की आवश्यकता पड़ती है। वर्तमान समय में उत्पादक गैस के स्थान में द्रव ईंधनों, जैसे ईंधन तेलों, तारकोल इत्यादि का उपयोग अधिक लोकप्रिय हो रहा है।

फ्लक्स

लोह ओर में विद्यमान गैंग को निकालने के लिए फलक्सों (स्यन्दों) का उपयोग किया जाता है। गैंग की प्रकृति सामान्यतः अम्लीय होने के कारण चून पत्थर प्रधान क्षारीय फ्लक्स के रूप में व्यवहृत होता है। प्रवात भट्ठी में सिलिका के साथ प्रक्रिया कर चूना क्षारीय मल बनाता है और विधि में विगन्धकीकरण[1] में महत्तवपूर्ण योग देता है। इस्पात के उत्पादन में

१. Desulphurization

फास्फरोहरण के लिए क्षारीय मल आवश्यक है। इसके लिए चूना, चून पत्थर और डोलोमाइट व्यवहृत होते हैं। डोलोमाइट कैलसियम और मैगनीशियम का संयुक्त कार्बोनेट है। लोह और इस्पात उद्योग में प्रयुक्त क्षारीय फ्लक्सों में सिलिका, गंधक, फास्फोरस अवांछनीय अशुद्धियाँ हैं। सिलिका फ्लक्स की शक्ति घटाता है और गंधक तथा फास्फोरस इस्पात के गुणों को कुप्रभावित करते हैं। फ्लक्स की तरह प्रयुक्त चून पत्थर में $CaCO_3$ प्रतिशत ९० से कम नहीं होना चाहिए।

तापसह पदार्थ

इन्हें अग्निरोधक पदार्थ भी कहते हैं। लोह और इस्पात का उत्पादन अत्यधिक उच्च तापों पर किया जाता है। इनका उत्पादन करनेवाली फर्नेसों में तापसह पदार्थों का अस्तर लगाया जाता है। इन पदार्थों का रासायनिक आचरण के आधार पर निम्नलिखित वर्गीकरण किया जा सकता है—

(१) अम्लीय तापसह पदार्थ
(२) क्षारीय तापसह पदार्थ
(३) तटस्थ तापसह पदार्थ

अम्लीय तापसह पदार्थ—लोह और इस्पात फर्नेसों के गठन में सिलिका और फायर क्ले ईंटों का बहुत उपयोग होता है। प्रवात भट्ठी का पूर्ण अस्तर उत्तम श्रेणी की फायर क्ले ईंटों का बनाया जाता है। लोह और इस्पात उद्योग में प्रयुक्त कुल तापसह पदार्थों में लगभग तीन चौथाई मात्रा फायर क्ले अग्निरोधकों की रहती है। सिलिका का उपयोग प्रधानतः इस्पात उत्पादन करनेवाली फर्नेसों में किया जाता है। अम्लीय फर्नेसों का संपूर्ण अस्तर सिलिका अग्निरोधकों का रहता है। क्षारीय इस्पात फर्नेसों में छत और मलरेखा के ऊपर की भित्तियाँ सिलिका ईंटों की बनायी जाती हैं।

क्षारीय तापसह पदार्थ—क्षारीय इस्पात फर्नेसों के तंदूर और मलरेखा तक सभी भाग क्षारीय तापसह पदार्थों के बनाये जाते हैं। अग्निरोधक

ईंटों के रूप में मैगनेसाइट का उपयोग अधिक प्रचलित है। डोलोमाइट कण फर्नेसों में संक्षत तंदूर और किनारों की मरम्मत करने के लिए प्रयुक्त होते हैं। संपूर्ण क्षारीय अस्तरवाली विवृत तंदूर फर्नेसों की छतें और भित्तियाँ क्रोम मैगनेसाइट ईंटों की बनायी जाती हैं। इनसे फर्नेस का कार्यन परास बढ़ जाने से उत्पादन गति अधिक हो जाती है।

तटस्थ तापसह पदार्थ—उच्च ताप पर यदि अम्लीय और क्षारीय तापसह पदार्थ संपर्क में रहें तो उनमें प्रक्रिया होकर अग्निरोधक अस्तर नष्ट हो जाता है। इस प्रवृत्ति को रोकने के लिए तटस्थ अग्निरोधक ईंटें बीच में लगायी जाती हैं। इस्पात फर्नेसों में मैगनेसाइट और सिलिका के बीच में तटस्थ क्रोमाइट ईंटें लगायी जाती हैं। दूसरे तटस्थ अग्निरोधक ग्रेफाइट का उपयोग प्रवात भट्ठी का अस्तर बनाने में होने लगा है। घरिया विधि द्वारा इस्पात के उत्पादन में ग्रेफाइट की मूषाएँ प्रयुक्त होती हैं। विद्युत् चाप फर्नेस में ग्रेफाइट विद्युदग्र विद्युत्धारा का संभरण करने के लिए उपयोग में लाये जाते हैं। ग्रेफाइट अग्निरोधकों का मूल्य अधिक होने के कारण इनका उपयोग विवेकपूर्वक किया जाना चाहिए।

लोह मेल और मिश्र धातुएँ

इस्पात का अनाक्सीकरण और पुनर्कार्बनन करने तथा मिश्रित इस्पातों का उत्पादन करने के लिए अनेक प्रकार के लोह मेल और मिश्र धातुएँ उपयोग में आती हैं। इन्हें फर्नेस में, लेडिल में अथवा मोल्ड में डाला जाता है। कुछ मिश्र पदार्थ, जैसे ताम्र, मालिब्डीनम, निकेल, विधि में प्रारंभ से ही चार्जित किये जा सकते हैं। इनका सरलता से आक्सीकरण न होने के कारण प्रत्यादान[१] लगभग पूर्ण होता है। इसके विपरीत क्रोमियम और मैंगनीज की आक्सीजन के साथ बंधुता अधिक होने के कारण इनके संकालन[२]

१. Recovery

२. Addition

में अधिकतम सावधानी रखी जाती है। सामान्यत: इन्हें लेडिल में मिश्रित किया जाता है। इसी प्रकार सरलता से आक्सीकृत होनेवाले तत्त्व, जैसे एल्यूमिनियम, बोरन, टाइटेनियम, वेनेडियम और जिरकोनियम लेडिल में डाले जाते हैं। धातु कुंभ को अभिशीतित होने से बचाने के लिए लोह मेलों को पूर्व तप्त किया जाता है। इनका अधिक मात्रा में संकालन करने के लिए कुछ भाग फर्नेस में और बचा हुआ भाग लेडिल में डाला जाता है। फर्नेस में डालने के लिए टुकड़ों की परिमा[1] लगभग पाँच इंच होनी चाहिए, जिससे वे सरलतापूर्वक कुंभ में प्रविष्ट हो सकें। लेडिल में दो इंच से बड़े टुकड़े डालने पर उनका इस्पात में विलयन द्रुत गति से नहीं होगा।

सामान्य संकाली पदार्थ

(१) **लोह मेंगनीज**—यह इस्पात के उत्पादन में प्रयुक्त सर्वाधिक महत्त्वपूर्ण लोह-मेल है। इस्पात का अनाक्सीकरण और पुनर्कार्बनन करने के लिए इसका सर्वत्र उपयोग किया जाता है। श्रेष्ठ लोहमेल में मेंगनीज की मात्रा ७४ से ८२% होनी चाहिए। इस लोहमेल में फास्फोरस और कार्बन की मात्रा का महत्त्व भी उल्लेखनीय है। विशिष्ट इस्पातों के उत्पादन में कार्बन और फास्फोरस की मात्रा कम रहने के लिए इनका विशेष महत्त्व है।

(२) **सिलिको-मेंगनीज**—विवृत तंदूर फर्नेस में इस लोह-मेल का उपयोग तापन का समवरोधन करने में किया जाता है। इसके संकालन से फर्नेस में आक्सीकरण की गति कम हो जाती है और लोह सिलिकन की तुलना में यह शीघ्रतापूर्वक एकरस हो जाता है।

(३) **लोह सिलिकन**—इस लोह मेल का प्रधान उपयोग लोह मेंगनीज के साथ अनाक्सीकारक के रूप में किया जाता है। कभी-कभी विवृत तंदूर फर्नेस में तापन का समवरोधन करने के लिए भी यह लोह-मेल

१. Size

प्रयुक्त होता है। एक साथ एक से अधिक अनाक्सीकारक पदार्थ डालने से सुगलनीय पदार्थ बनते हैं जो सरलता से ऊपर उठ आते हैं।

(४) **स्पीजेल**—इस लोह-मेल का उपयोग तापन का समवरोधन[1] करने के लिए किया जाता है। लोह मैंगनीज की तुलना में इसकी अनाक्सीकरण और पुनर्कार्बनन शक्ति कम होती है। अनाक्सीकरण और पुनर्कार्बनन में भी इसका उपयोग उल्लेखनीय है।

मेलीय इस्पातों के उत्पादन में क्रोमियम, वेनेडियम, मालिब्डीनम, टाइटेनियम, टंगस्टन का समावेश करने के लिए इन धातुओं के लोह-मेल लोह क्रोमियम, लोह वेनेडियम, लोह मालिब्डीनम, लोह टाइटेनियम, लोह टंगस्टन व्यवहृत होते हैं। ताम्र, एल्यूमिनियम, निकेल और कोबाल्ट शुद्ध धातुओं के रूप में मिश्रित किये जाते हैं। सारणी संख्या ५ में विभिन्न मेलीय तत्त्वों और लोह-मेलों के औसत रासायनिक समास दिये गये हैं।

चित्र ८ में भारत में पाये जानेवाले मुख्य लोह ओर, ईंधन, फ्लक्स तथा तापसह पदार्थ दर्शाये गये हैं।

[सारणी ५ कृपया पृष्ठ ३५ पर देखें]

1. Block

सारणी संख्या ५

पदार्थ	प्रतिशत														
	Fe	C	Mn	P	S	Si	V	Cr.	Ni	Cu	Ti	Al	Mo	W	Co
लोह मैंगनीज	१३	६·८	७९·४	०·१६		०·७									
सिलिको मैंगनीज		१·५	६५·०			२०·०									
लोह सिलिकन	४९·४	०·५५	०·०२	०·०८	०·०२	४९·९									
स्पीजेल	७५·७	४·४	१९·१	०·०५	०·०३	०·७									
लोह क्रोमियम	२२·१	६·४	०·४	०·००३	०·०८	०·५		७०·०							
लोह वेनेडियम	४२·७	१·६	६·३	०·१	०·११	१०.५	३८·०								
लोह मालिब्डीनम		२·५		०·१	०·२५	१·५							५५·०		
लोह टाइटेनियम	६९·५	७·८	०·१	०·००३	०·०३	२·७		०·२			१७·४	१·६			
लोह टंग्स्टन		०·६												७०·०	
लोह फास्फोरस	८०·०	१·१	०·२	१८·०	०·६५	०·१									
ताम्र										९९·०					
एल्यूमिनियम												९८·०			
निकेल									९७·०						
कोबाल्ट															९९·०

अध्याय ५

पिग लोह का उत्पादन

लोह अयस्क का प्रत्यक्ष लघ्वन[1] करने के अनेक प्रयत्न समय-समय पर किये जाते रहे हैं। इस कार्य में अनेक प्रकार की फर्नेसों (भट्ठियों) और लघ्वीकर पदार्थों का प्रयोग किया गया। यह कहना पर्याप्त होगा कि इस प्रकार की प्रत्यक्ष विधियों में व्यावसायिक दृष्टि से कोई भी विधि पुंजोत्पादन के लिए सफल नहीं हो सकी। लोह ओर से इस्पात के उत्पादन में पहले पिग लोह का उत्पादन किया जाता है, तत्पश्चात् पिग लोह को विभिन्न विधियों द्वारा इस्पात में परिवर्तित किया जाता है। लोह ओर (अयस्क) से कम कार्बन युक्त लोह का प्रत्यक्ष विधियों द्वारा उत्पादन सैद्धान्तिक दृष्टि से परोक्ष विधियों की अपेक्षा अधिक आकर्षक प्रतीत होता है। परोक्ष विधियों में अशुद्धियों से लदे उच्च कार्बन युक्त पिग लोह का शोधन कर इस्पात बनाया जाता है। प्रत्यक्ष लघ्वन विधियों के असफल होने के निम्नलिखित मुख्य कारण हैं, जिनके फलस्वरूप ये विधियाँ व्यावसायिक रूप नहीं ले सकीं—

(१) प्रत्यक्ष लघ्वन के लिए लोह अयस्क का समृद्ध और सूक्ष्म भाजित दशा में होना आवश्यक है।

(२) लघ्वन की अच्छी निष्पत्ति के लिए लघ्वीकर पदार्थ और लोह अयस्क (ओर) का सम्मिश्रण गाढ़ा होना चाहिए।

(३) सम्मिश्रण में ओर और लघ्वीकर पदार्थ की समुचित मात्रा न

१. Reduction **अपचयन, अवकरण**

रहने पर विधि के कार्यन में लाभ और सुविधा नहीं रहती। ओर की मात्रा अधिक होने पर उसका अपचयन अधूरा रह जाता है तथा लघ्वीकर पदार्थ अधिक होने पर कम तापवाली लघ्वित धातु स्पंजी अथवा लेपी दशा में प्राप्त होती है, जिसका हस्तन[1] करना सुविधाजनक नहीं रहता। उच्च ताप पर अयस्क का लघ्वन करने से कार्बन और फास्फोरस अवशोषित हो जाते हैं और इस प्रकार प्राप्त धातु एवं पिग लोह में अधिक अंतर नहीं रह जाता। चार्ज में विद्यमान गंधक धातु में सरलता से प्रविष्ट हो जाता है, जिसका निष्कासन करने के लिए चूना और प्रवात भट्ठी में विद्यमान उग्र अपचायक वातावरण आवश्यक हो जाता है।

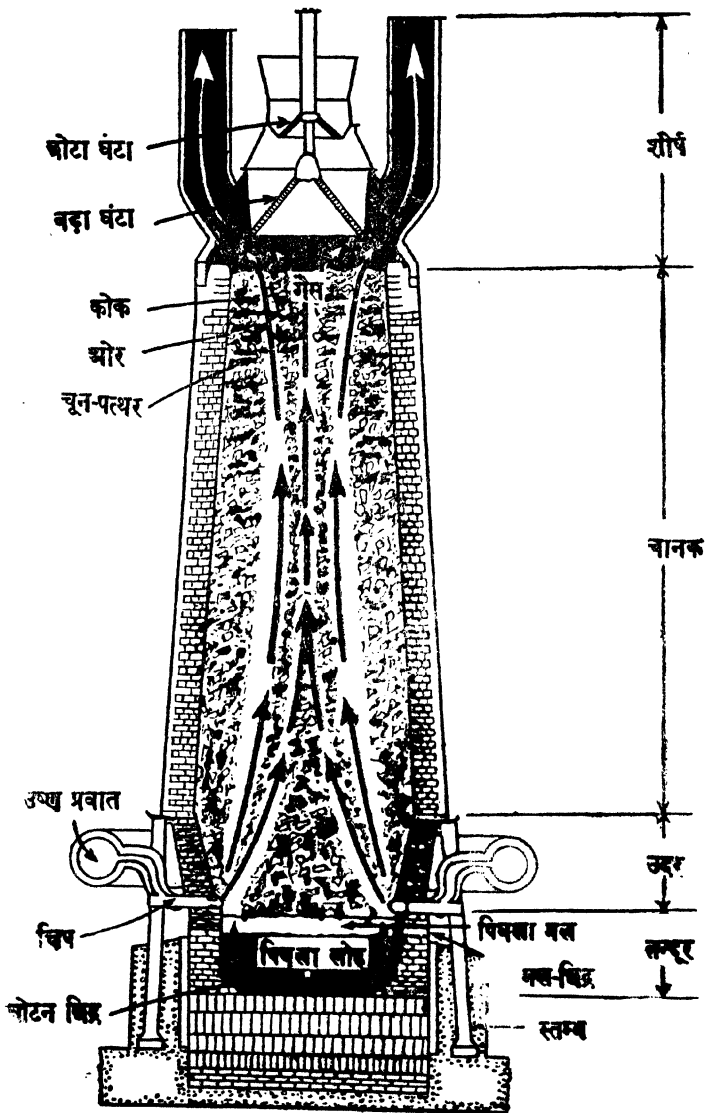
(४) प्रत्यक्ष विधियों की उत्पादन-क्षमता परोक्ष विधियों की तुलना में कम होती है।

उपर्युक्त कारणों के फलस्वरूप इस्पात के उत्पादन में परोक्ष विधियों का उपयोग सर्वत्र किया जाता है। सैद्धान्तिक दृष्टि से विचार करने पर लोह ओर से इस्पात के उत्पादन का यह क्रम उचित नहीं मालूम पड़ता। कारण, प्रवात फर्नेस में रासायनिक प्रक्रियाओं की गति बहुत शिथिल होती है। प्रयोगशाला में जो रासायनिक प्रक्रियाएँ कुछ मिनटों में समाप्त हो जाती हैं, उन्हें प्रवात फर्नेस में पूरा होने में घंटों लग जाते हैं। साथ ही प्रवात फर्नेस में ओर में विद्यमान आक्सीजन का स्थान कार्बन ले लेती है और इस प्रकार इस्पात के उत्पादन का आधा कार्य ही पूरा होता है। प्रवात फर्नेस में लोह अयस्क के प्रद्रावण के समय सभी लघ्वित तत्त्व पिग लोह में विलयित हो जाते हैं, जिन्हें सावधानी पूर्वक निष्कासित करना श्रेष्ठ इस्पातों के उत्पादन के लिए आवश्यक होता है। आधुनिक प्रवात फर्नेस की उत्पादन-क्षमता १००० टन प्रति दिन से अधिक होती है और उपयुक्त कच्चे पदार्थ उपलब्ध होने पर इसका उत्पादन-व्यय सबसे कम रहता है।

१. To handle

पिग लोह के उत्पादन की स्थूल रूपरेखा

लोह ओर, कोक (ईंधन) और चून पत्थर (फ्लक्स) उचित अनुपात में फर्नेस के शीर्ष से चार्जित किये जाते हैं और फर्नेस के अवर पार्श्व में स्थित क्षिपों[1] द्वारा तप्त वायु प्रवात भेजा जाता है। लगभग पूरी फर्नेस (भट्ठी) चार्ज से सदैव भरी रहती है और वायु प्रवात चार्ज में होता हुआ ऊपर उठता है। कोक का दहन होने से फर्नेस में प्रचंड ताप उद्भूत होता है और प्रक्रिया के फलस्वरूप प्राप्त कार्बन मोनाक्साइड गैस आक्साइडों का लघ्वन करती है। ओर और कोक में विद्यमान विजातीय पदार्थ (जो बहुधा अम्लीय प्रकृति के होते हैं) क्षारीय फ्लक्स के साथ प्रक्रिया कर मल बनाते हैं। लघ्वित धातु और मल गलित दशा में फर्नेस के कूप में एकत्र होते हैं। मल का आपेक्षिक गुरुत्व कम होने के कारण वह धातु की सतह पर तैरता रहता है। इस प्रकार विजातीय पदार्थों से मुक्त पिग लोह की प्राप्ति होती है। अन्य सभी लघ्वित तत्वों का धातु में विलयन होने के कारण पिग लोह में कार्बन के अतिरिक्त सिलिकन, मैंगनीज, फास्फोरस और गंधक की काफी मात्रा समाविष्ट हो जाती है। आक्साइडों के रूप में विद्यमान पदार्थ मल में चले जाते हैं। विशालकाय प्रवात फर्नेस से श्वेत गरम पिग लोह का त्रोटन दिन में चार पाँच बार किया जाता है। ये फर्नेसें निरन्तर रात दिन कई वर्षों तक पिग लोह का उत्पादन करती रहती हैं। एक बार प्रकार्य प्रारंभ होने के बाद लगभग सात आठ वर्ष तक फर्नेस का आन्दोलन बराबर चलता रहता है और प्रति दिन लगभग १००० टन पिग लोह का उत्पादन होता है। यह उत्पादन प्राप्त करने के लिए लगभग १८०० टन लोह ओर, १००० टन कोक, ५०० टन चून पत्थर फर्नेस के शीर्ष से चार्जित किये जाते हैं और लगभग ४००० टन वायु-प्रवात क्षिपों द्वारा भेजा जाता है। पिग लोह के अतिरिक्त लगभग ६०० टन मल और ५७०० टन प्रवात फर्नेस गैस की

१. Tuyere or twyer वायु निकलने का छिद्र

चित्र ९—प्रवात भट्ठी का खंड (पृ० ३९)

प्राप्ति होती है। कार्यन में फर्नेस के कुछ अंगों (क्षिप, उदर और कूप) को शीतल रखने के लिए दस लाख गैलन से अधिक जल और अग्निरोधक अस्तर बनाने में लगभग दस लाख तापसह ईंटों की आवश्यकता पड़ती है।

प्रवात भट्ठी की रचना

चित्र ९ में प्रवात भट्ठी का खंड दिखाया गया है। आधुनिक भट्ठी लगभग १०० फुट ऊँची होती है तथा इसके सबसे चौड़े अंग का व्यास लगभग ३० फुट होता है। फर्नेस का बाहरी पंजर आध इंच मोटाई के इस्पात पट्टों का बनाया जाता है, जिसके भीतर दो से पाँच फुट मोटा फायर क्ले ईंटों का अस्तर लगाया जाता है। फर्नेस का ऊपरी भाग, जो ऊपर से नीचे की ओर क्रमशः चौड़ा होता जाता है, 'चानक' कहलाता है। चानक का निचला भाग बीड़ के बने १२ या १६ मजबूत स्तंभों पर सधा रहता है। ऊर्ध्व-गामी तप्त गैसों द्वारा गरम होकर चार्ज का आयतन बढ़ जाने से चानक को क्रमशः नीचे चौड़ा बनाया जाता है। चानक से नीचेवाला भाग 'उदर' कहलाता है जो फर्नेस का अधिकतम तप्त भाग होता है। उदर एक छोटे रम्भाकार कूप के ऊपर स्थित रहता है। चानक और उदर का संधि-स्थल फर्नेस का सर्वाधिक चौड़ा भाग होता है। कूप की गहराई लगभग १० फुट और व्यास लगभग २५ फुट होता है। गलित धातु और मल इसी कूप में एकत्र होते रहते हैं और समय-समय पर मल-छिद्र और धातु-छिद्र खोल-कर फर्नेस के बाहर निकाले जाते हैं। नितल से लगभग ८ फुट की ऊँचाई पर १० से १६ क्षिप फर्नेस की परिधि में सम वितरित रहते हैं और विधि में आवश्यक वायु का संभरण करते हैं। प्रवात भट्ठी गैस के निष्क्रमण के लिए भट्ठी के शीर्ष में दो नाड लगे रहते हैं जिन्हें अधोगामी कहा जाता है।

प्रवात भट्ठी संयंत्र[1]

प्रवात भट्ठी में पिग लोह की इतनी अधिक मात्रा उत्पादित करने के

१. Plant

लिए आवश्यक कच्चे पदार्थों और फर्नेस से प्राप्त उत्पादों पर हम ऊपर विचार कर चुके हैं। पिग लोह के उत्पादन में प्रवात फर्नेस के अतिरिक्त निम्नलिखित अन्य प्रसाधन आवश्यक होते हैं—

(१) चार्जिंग प्रसाधन
(२) धमन यंत्र
(३) स्टोव
(४) उदंचन संयंत्र[१]
(५) गैस सफाई संयंत्र

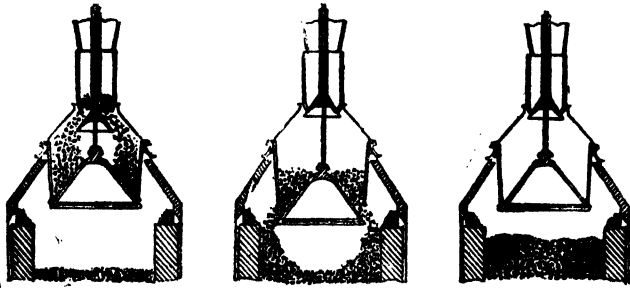
चार्जिंग प्रसाधन

भट्ठी में प्रति दिन हजारों टन कच्चे पदार्थों का चार्जन करने की सुविधा होना आवश्यक है। लोह ओर, चून पत्थर, कोक इत्यादि का संचय फर्नेस मंचक के सामने बनी हुई बिनों[२] में किया जाता है। लोह 'ओर' और चून पत्थर खानों से लाकर इन बिनों में संगृहीत किये जाते हैं। इनकी काफी मात्रा संचय में रखी जाती है, जिससे किसी दुर्घटना अथवा आवागमन की कठिनाई के कारण ओर (अयस्क) और चून पत्थर का संभरण[३] अस्थायी रूप से रुक जाने पर फर्नेस के कार्यन में कोई गड़बड़ी न हो। बाहर से आये हुए ओर और फ्लक्सों के वैगन बिनों के ऊपर रेलों की पटरी पर खड़े किये जाते हैं और नीचे का द्वार खोलकर ये पदार्थ बिनों में अलग-अलग गिरा दिये जाते हैं। पादप (संयंत्र) इस भाग को 'ऊँची पटरी' कहा जाता है, कारण कि रेल की पटरी बिनों के ऊपर धरातल से काफी ऊँची रहती है।

फर्नेस को चार्जित करने के लिए चार्जन कार में विभिन्न बिनों से कच्चे

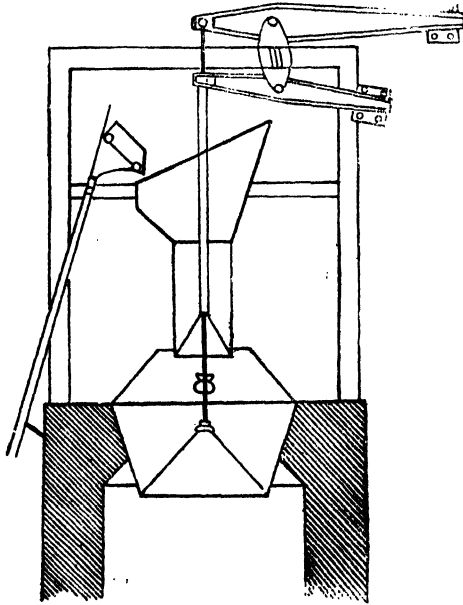
१. Pumping plant
२. Bin
३. Supply

पदार्थ तौलकर निकाले जाते हैं। कोक बहुधा कोक ओवनों से लाकर कोक बिनों में रखा जाता है और चार्जन कार में भरा जाता है। फर्नेस में ओर, फ्लक्स और कोक का चार्जन अनुपात फर्नेस के कार्यन के आधार पर पूर्व निश्चित कर दिया जाता है। चार्जन कार विभिन्न पदार्थों को स्किप में गिराती है। प्रत्येक आधुनिक फर्नेस में दो स्किप मार्ग बने रहते हैं। एक भारयुक्त स्किप जब ऊपर जाती है तब दूसरी खाली स्किप[1] फर्नेस के नीचे उतरती है। इस प्रकार फर्नेस का चार्जन उचित अनुपात में शीर्ष से किया जाता है।

फर्नेस के शीर्ष पर चार्जन करते समय गैसों का मुँह से निष्क्रमण रोकने तथा फर्नेस में चार्ज का सम वितरण करने के लिए विशेष प्रबंध रहता है, जिसे 'कटोर और शंकु विन्यास' कहते हैं। चित्र १० में फर्नेस के शीर्ष पर

चित्र १०—कटोर और शंकुविन्यास

स्थित, कटोर और शंकु विन्यास[2] की विभिन्न स्थितियाँ स्पष्ट की गयी हैं। स्किप का चार्ज अधोवाप[3] में गिराया जाता है जो छोटा घंटा खुलने पर बड़े

१. Skip बड़ी बाल्टी या झूला
२. Cup and cone arrangement
३. Hopper

घंटे में गिर जाता है। छोटा घंटा प्रत्येक बार पूरा एक घान (जिसमें छ: या अधिक स्किप भार होते हैं) चार्ज गिराकर साठ अंश घूम जाता है। चित्र ११ में छोटे घंटे की विभिन्न स्थितियाँ दिखायी गयी हैं। छोटे घंटे के छ: या अधिक बार खुलकर बंद होने के बाद बड़ा घंटा खोलकर चार्ज फर्नेस में गिराया जाता है। बड़ा घंटा खुलने के समय छोटा घंटा बन्द रहता है।

चित्र ११—छोटे घण्टे की विभिन्न स्थितियाँ

इस प्रकार हर समय दो घंटों में से एक बंद रहकर फर्नेस गैसों को मुँह से बाहर नहीं जाने देता। फर्नेस में चार्ज की सतह का निर्देश करने के लिए एक इस्पात दंड लटकाया जाता है। जैसे जैसे फर्नेस में चार्ज नीचे खिसकता है यह निर्देशक दंड (जो चार्ज की ऊपरी सतह पर टिका रहता है) भी नीचे

उतरता है और विद्युतीय विन्यासों की सहायता से स्वयमेव फर्नेस में चार्ज की स्थिति वताता रहता है। निश्चित निचाई तक चार्ज के खिसकने पर वड़ा घंटा खोलकर फर्नेस को चार्जित किया जाता है।

फर्नेस का सुचारु कार्यन अनेक घटकों पर निर्भर रहता है, जिनमें कच्चे पदार्थों का फर्नेस के अंदर सम वितरण बहुत महत्त्वपूर्ण है। इसी कारण प्रत्येक घान के वाद छोटे घंटे को ६० अंश घुमा दिया जाता है।

धमन यंत्र

विशाल धमन यंत्रों द्वारा लगभग एक लाख घनफुट तप्त वायु-प्रवात १५ से ३० पौंड प्रति वर्गइंच के दबाव पर फर्नेस में क्षिपों[१] द्वारा धमित किया जाता है। फर्नेस में भेजने के पहले प्रवात को स्टोव में पूर्व-तप्त किया जाता है। एक टन पिग लोह के उत्पादन में लगभग चार टन वायु की आवश्यकता होती है। इतनी अधिक मात्रा में वायु को दबाव पर घमित करने के लिए विशालकाय यंत्र उपयोग में लाये जाते हैं। वर्तमान समय में व्युत्क्रमिक[२] इंजनों की तुलना में वाष्प अथवा विद्युत-चालित वरीवर्त न्यंचों[३] का उपयोग अधिक लोकप्रिय हुआ है। इनके संस्थापन में कम स्थान लगता है, संधारण व्यय कम होता है, अधिक प्रेरण पर समान गतिशील प्रवात की प्राप्ति होती है तथा इन्हें विद्युत द्वारा भी चालित किया जा सकता है। व्युत्क्रमिक इंजनों द्वारा प्राप्त प्रवात में स्पन्दन विद्यमान रहते हैं।

स्टोव

फर्नेस में प्रवात का धमन करने के पूर्व उसे स्टोवों में तापित किया जाता है। जब शीतल प्रवात का धमन किया जाता था, प्रति टन पिग लोह

१. Tuyere
२. Reciprocating
३. Pump

का उत्पादन करने के लिए लगभग ८ टन कोक की आवश्यकता होती थी। प्रवात को लगभग ७००° से० तक पूर्व तापित करने से कोक की खपत घट-कर एक टन से कम रह गयी है। निम्नलिखित लाभों के कारण वायु का स्टोवों में पूर्व तापन सर्वत्र लोकप्रिय हो गया है—

(१) फर्नेस में कोक की खपत बहुत घट जाती है।

(२) फर्नेस के उदर में उद्भावित ताप की प्रचंडता के फलस्वरूप प्रद्रावण गति त्वरित हो जाती है।

(३) द्रुत प्रद्रावण गति के फलस्वरूप अधिक धारिता वाली फर्नेसों का गठन संभव हो सका है।

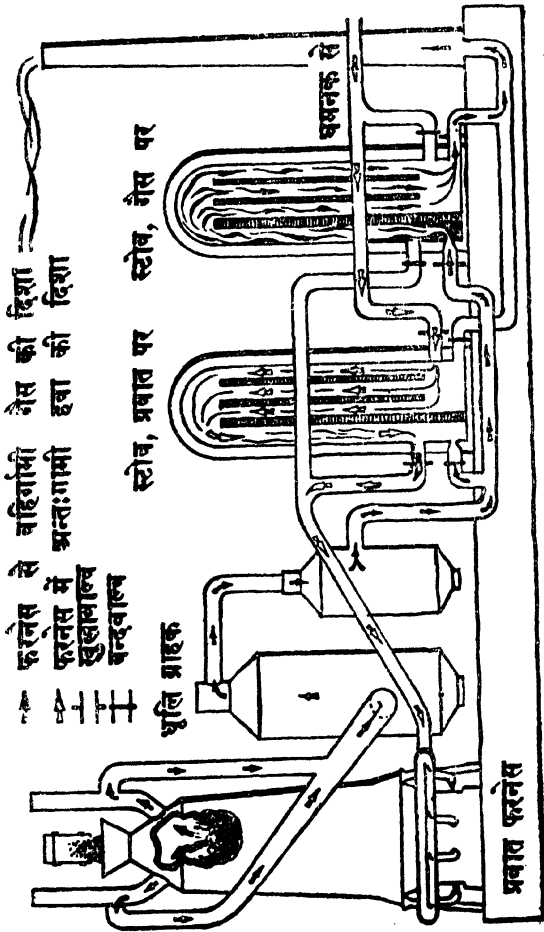
(४) प्रवात के ताप को बदलकर फर्नेस के उदर में उद्भावित ताप पर और इस प्रकार उत्पादित पिग लोह की श्रेणी पर समुचित नियंत्रण करना संभव हो सका है।

(५) ईंधन की खपत घट जाने के कारण वायु की अपेक्षाकृत कम मात्रा धमन करनी पड़ती है। इस प्रकार प्रवात फर्नेस गैसों में कमी से संवेद्य ऊष्मा की हानि कम हो जाती है।

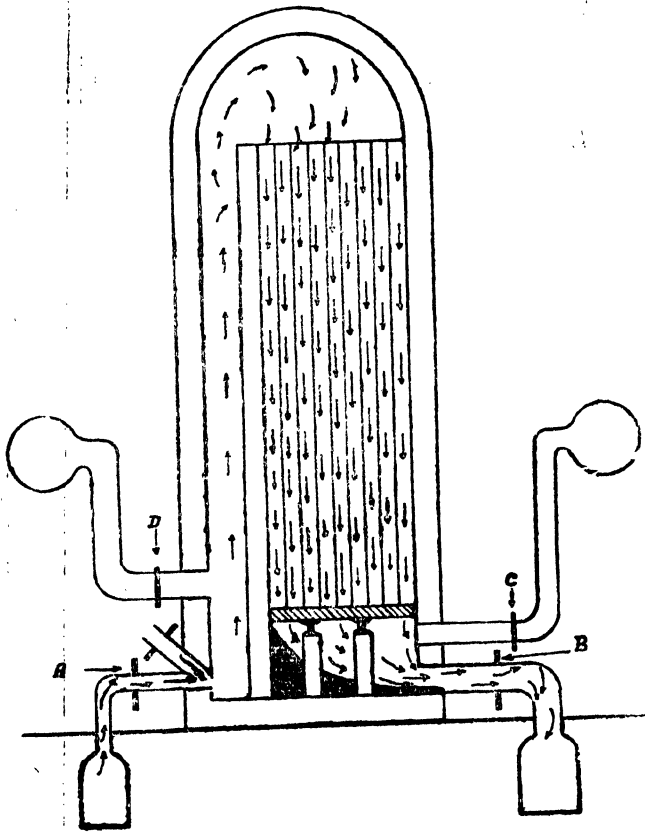
(६) ऊर्ध्वगामी गैसों की मात्रा कम होने के कारण अधोगामी चार्ज शीघ्रता से गैसों की संवेद्य ऊष्मा[1] ग्रहण कर लेता है, जिससे फर्नेस का शीर्ष अपेक्षाकृत शीतल रहता है।

(७) फर्नेस गैसों का लगभग २० से २५ प्रतिशत भाग प्रवात का पूर्व ऊष्मन करने के लिए उपयोग में आता है और इस प्रकार यह वर्चसीय[2] ऊष्मा पुनः फर्नेस में जाकर उसकी कुल तापीय निष्पत्ति को बढ़ा देती है। प्रवात की मात्रा में कमी होने से छोटे धमन यंत्रों की आवश्यकता पड़ती है।

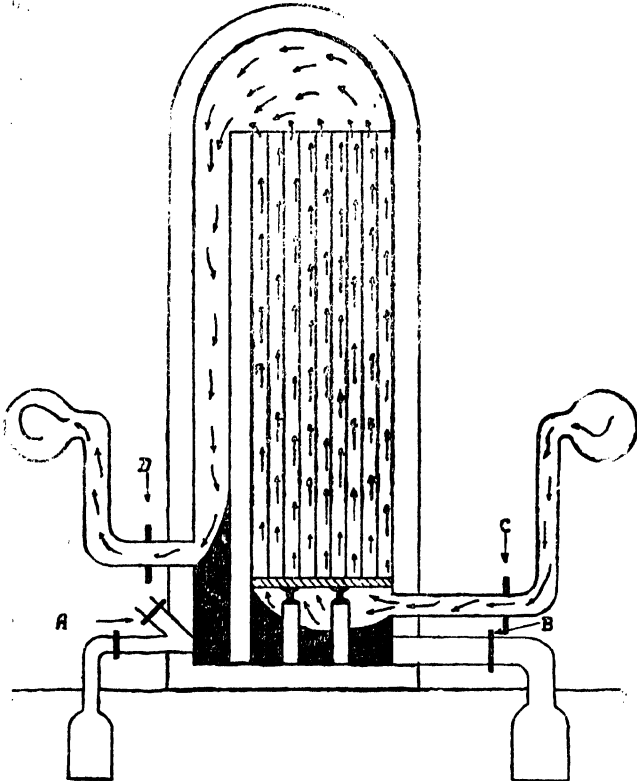
१. Sensible heat

२. Potential अंतर्निहित

चित्र १२—प्रवात फर्नेस व स्टोव की स्थिति

प्रवात का ताप साधारणतः ५५०° से ७००° से० रखा जाता है। इससे अधिक ताप बढ़ाने का प्रयत्न करने पर बार-बार स्टोव बदलने पड़ते हैं,

प्रवात का ताप सम रखना कठिन हो जाता है, स्टोवों में लगे वाल्ब इत्यादि

चित्र १३ क—उष्ण प्रवात स्टोव (गैस पर)

शीघ्रता से विफल होने लगते हैं और ईंधन की खपत इतनी कम हो जाती

है कि उसके दहन से उत्पादित गैसें चानक[1] में चार्ज का संतोषपूर्ण सज्जन

चित्र १३ ख—उष्ण प्रवात स्टोव (हवा पर)

१. Shaft (ईषा ?)

नहीं कर पातीं। अधोगामी चार्ज चानक में भली प्रकार तैयार न होने पर फर्नेस के कार्यन में गड़बड़ी होने लगती है।

वायु-प्रवात ऊष्मित करने के लिए स्टोव काम में लाये जाते हैं। एक फर्नेस के साथ तीन या चार स्टोव रहते हैं। इनकी परिमा लगभग प्रवात फर्नेस के बराबर ही रहती है। चित्र १२ में प्रवात फर्नेस और स्टोव की स्थिति दिखायी गयी है। स्टोव रम्भाकार और इसका ऊपरी भाग गुंबजाकार होता है। भीतर, सुषिर फायर क्ले ईंटों का अस्तर लगाकर **चित्र १३** में दिखलाये गये आकार-जैसे दो खंड बनाये जाते हैं —

(१) दहन कक्ष

(२) चैकर जालियाँ

दहन कक्ष में प्रवात फर्नेस गैस (कार्बन मोनाक्साइड) जलायी जाती है और दहन उत्पाद ऊपर उठकर चैकर की जालियों को ऊष्मित करते हुए स्टोव के बाहर जाते हैं। प्रवात फर्नेस गैस जलाकर ताप बढ़ाते समय स्टोव को 'गैस पर' कहा जाता है। स्टोव में प्रवात प्रवाहित कर उसका ताप बढ़ाने का प्रकार्य[१] 'प्रवात पर' कहलाता है। सामान्यतः एक स्टोव तीन घंटे गैस पर रखकर गरम किया जाता है और लगभग एक घंटा वायु प्रवात को ऊष्मित करने में प्रयुक्त होता है।

स्टोव के चैकर की जालियाँ सुषिर फायर क्ले ईंटों की बनायी जाती हैं। दहन उत्पादों से इनकी ताप ग्रहण करने की क्षमता और प्रवात को ताप प्रदान करने की सामर्थ्य अधिक होती है। जालियों के दरों को चौकोर, गोल अथवा अन्य किसी आकार का बनाकर अधिकतम तापन क्षेत्र उपलब्ध करने का प्रयत्न किया जाता है। तापसह[३] अस्तर और स्टोव के बाहरी कर्पर[२] के बीच में ताप की हानि रोकने के लिए अदह[३] तल्प लगाया जाता है।

१. Operation

२. Shell

३. Asbestos pad

प्रवात में विद्यमान वाष्प की मात्रा अचर[1] रखना महत्त्वपूर्ण है। कुछ वर्षों पहले तक प्रवात को आर्द्रता कम करने के प्रयत्न किये जाते थे, कारण कि वाष्प का विबंधन[2] ताप-शोषक प्रक्रिया है। वर्तमान समय में गवेषणा के फलस्वरूप यह सिद्ध हो चुका है कि प्रवात को आर्द्रता-मुक्त बनाने की अपेक्षा उसमें वाष्प मिलाकर आर्द्रता सम रखना अधिक सरल और सुविधा-जनक है। ताप-शोषक प्रक्रिया से हुई ऊष्मा की हानि को पूरा करने के लिए प्रवात का ताप अधिक कर दिया जाता है। इस प्रकार अचर आर्द्रता युक्त प्रवात का उपयोग करने से फर्नेस का प्रकार्य सुचारु हो जाता है, प्रक्रिया की निष्पत्ति बढ़ जाती है और कोक की खपत घट जाती है।

उदंचन संयंत्र

प्रवात फर्नेस प्रकार्य में फर्नेस के विभिन्न अंगों को शीतल रखने, बायलरों में वाष्प का उत्पादन करने और प्रवात फर्नेस गैस की सफाई के लिए अत्यधिक मात्रा में जल की आवश्यकता होती है। सामान्यत: एक फर्नेस से संबद्ध उपर्युक्त सभी कार्यों के लिए प्रति दिन ६० लाख गैलन जल की आवश्यकता होती है। अत: लोह और इस्पात कर्मक[3] की स्थापना करने के पूर्व जल की उपलब्धि पर विचार करना आवश्यक है। उदंचन के लिए अपकेन्द्र उदंच सर्वत्र लोकप्रिय हो गये हैं। फर्नेस के उदर, क्षिपों और कूप को शीतल करना आवश्यक है, अन्यथा अति प्रचंड ताप के कारण वे शीघ्र ही जल जायँगे। प्रति फर्नेस दो उदंच रखे जाते हैं, जिससे किन्हीं कारणों वश यदि एक उदंच विफल हो जाय तो तुरंत ही दूसरे को चला दिया जाता है।

१. Constant

२. Decomposition, विच्छेदन

३. Works

गैस-सफाई संयंत्र

फर्नेस के अधोगामी[१] से निकली गैस धूलि-कणों से लदी रहती है। उसका औसत रासायनिक संगठन इस प्रकार होता है—

CO_2	—	12%
CO	—	28%
CH_4 और H_2	—	1%
N_2	—	शेष

इसकी ऊष्मीय अर्हा[२] ९० से १०५ ब्रिटिश ऊष्मा मात्रक[३] होती है। स्थूल रूप से यह अनुमान लगाया गया है कि फर्नेस की कुल ऊष्मा की आदा[४] का लगभग ६० प्रतिशत प्रवात फर्नेस गैस की वर्चसीय ऊष्मा के रूप में बाहर निकल आता है। अतः विधि में उत्तम तापीय निष्पत्ति के लिए यह आवश्यक है कि प्रवात फर्नेस गैस का समुचित सदुपयोग किया जाय। प्रवात फर्नेस गैस को साफ कर उपयोग करने से निम्नलिखित लाभ होते हैं—

(१) धूलि-मुक्त गैस की दहन निष्पत्ति (दक्षता) श्रेष्ठ होती है। यदि गैस धूलिकणों से लदी हो तो उसका दहन ठीक रूप में नहीं हो पाता, कारण कि विद्यमान धूलिकण दहन को परिमन्द कर देते हैं।

(२) साफ गैस का उपयोग करने से स्टोव के छिद्र रुँधते नहीं हैं।

(३) गैस में विद्यमान धूलिकण लगातार बमबाजी कर पारणों[५] इत्यादि का अपघर्षण करते हैं।

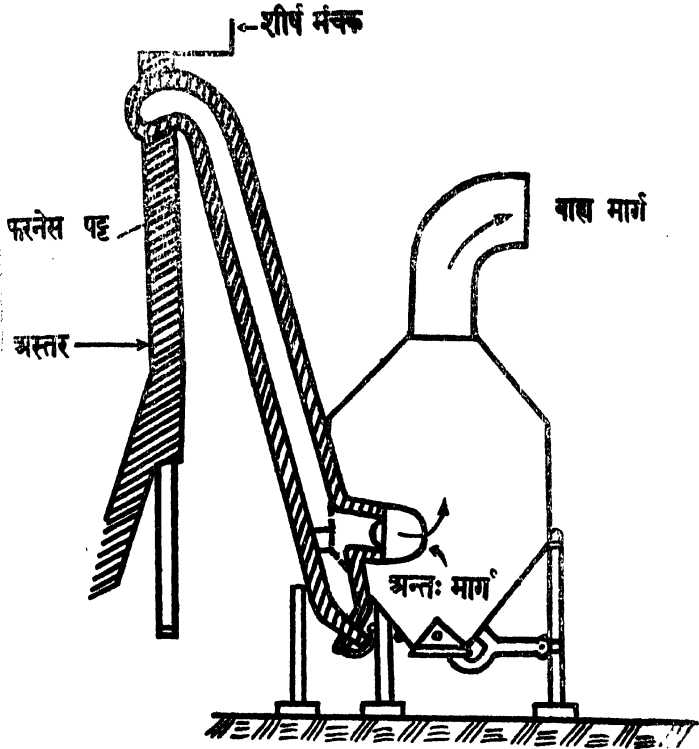
१. Downcomer

२. Calorific value

३. British Thermal Unit

४. Input

५. Passage

(४) साफ गैस के उपयोग में दहन का नियंत्रण सुचारु रूप से किया जा सकता है।

चित्र १४—धूलिधारक का कार्यकारी सिद्धान्त

(५) धूलि न रहने पर स्टोव के चैकर के दरों को छोटा रखा जा सकता है, जिससे ऊष्मन का तल क्षेत्र बढ़ जाता है।

(६) धूलि में कुछ क्षारीय तत्त्व भी विद्यमान रहते हैं जो स्टोव के तापसह पदार्थों में निक्षेपित होकर उनका स्यंदन कर देते हैं।

प्रवात फर्नेस गैस की सफाई के लिए सामान्यतः निम्नलिखित रीतियाँ उपयोग में लायी जाती हैं—

(१) धूलि-धारक
(२) जलीय प्रक्षालक
(३) विद्युतीय अवक्षेपक[१]

धूलि-धारक

धूलि की सफाई करनेवाले सभी प्रसाधनों में इसका गठन सबसे सरल होती है। चित्र १४ में धूलि-धारक का कार्यन सिद्धान्त स्पष्ट किया गया है। प्रवाह की दिशा में परिवर्तन और अचानक आयतन में वृद्धि के कारण गैस की धूलि-परिवहन सामर्थ्य कम हो जाती है और धूलि के बड़े कण नीचे गिर जाते हैं। सामान्य प्रवात फर्नेस प्रविधि में गैसों की धूलिमात्रा, धूलि-धारक में प्रवेश करने के पूर्व लगभग ५ कण प्रति घनफुट रहती है जो धूलि-धारक से बाहर निकलते समय १·५ कण प्रति घनफुट रह जाती है। प्रवात फर्नेस के अधोगामी[२] में बड़े धूलिकणों को हटाने के लिए सर्वत्र धूलि-धारकों का उपयोग किया जाता है।

गैस का जलीय प्रक्षालन

गैस का जलीय प्रक्षालन करने के लिए ऊँचे प्रस्थाणु[३] प्रयुक्त होते हैं। इनमें गैस नीचे से प्रवेश करती है और शीर्ष से जल की फुहारें छोड़ी जाती हैं। ऊर्ध्वगामी गैस में विद्यमान धूलिकण गीले होकर जल के साथ

१. Precipitant
२. Downcomer
३. Tower

बह जाते हैं और इस प्रकार प्रक्षालक से बाहर आनेवाली गैस में धूलि की मात्रा ०·२५ से ०·३ कण प्रति घनफुट रह जाती है। कभी-कभी एक से अधिक प्रक्षालकों का श्रेणी में उपयोग किया जाता है। एक प्रक्षालक से बाहर निकली गैस को दूसरे प्रक्षालक में भेजकर साफ किया जाता है।

विद्युतीय अवक्षेपक

जलीय प्रक्षालक से बाहर निकली गैस की अंतिम सफाई विद्युतीय अवक्षेपकों में की जाती है। गैस विद्युदग्र अ और भूयुक्त विद्युदग्र ब के बीच में प्रवाहित होती है। धूलि के कण चार्जित होकर विद्युदग्र अ से प्रतिकर्षित होकर विद्युदग्र ब पर निक्षेपित हो जाते हैं, जहाँ कि वे जल के प्रवाह द्वारा नीचे बहा दिये जाते हैं। इस प्रकार गैस में धूलि की मात्रा ०·००५ कण प्रति घनफुट रह जाती है।

कच्चे पदार्थों की प्रकृति का महत्त्व

प्रवात फर्नेस के नियमित और सुचारु प्रकार्य के लिए उसमें चार्जित कच्चे पदार्थों की प्रकृति पर समुचित ध्यान देना आवश्यक है। सभी पदार्थों में अशुद्धियाँ यथासंभव कम होनी चाहिए।

१: लोह 'ओर'—

फर्नेस में 'ओर' (अयस्क) के ४ इंच से छोटे पिंड चार्जित किये जाते हैं। अधिक बड़े ढेलों का सरलतापूर्वक अपचयन नहीं होता और सूक्ष्म कण ऊर्ध्वगामी गैसों का मार्ग अवरुद्ध कर अनेक कठिनाइयों को जन्म देते हैं। अयस्क के अपचयन के लिए उसकी सुषिरता महत्त्वपूर्ण है। इसी कारण फर्नेस प्रभार में साद[1] पसंद किया जाता है। सामान्यतः मैगनेटाइट ओर

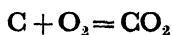
१. Sinter

की अपेक्षा हेमेटाइट की अपचायकता अधिक होती है। बहुधा कई खानों से आये ओरों को उचित अनुपात में मिलाकर फर्नेस में चार्जित किया जाता है। 'ओर' की संमर्दन शक्ति[1] श्रेष्ठ होनी चाहिए, अन्यथा वह शीघ्रता से चूरित हो जायगा।

(२) कोक —

बड़ी और सम परिमा कोक के लिए अधिक महत्त्वपूर्ण है, कारण कि इसके छोटे कणों को फर्नेस के ऊपरी भाग में प्रक्रिया द्वारा हानि पहुँचती है —

$$C + O_2 = CO_2$$

$$CO_2 + C = 2CO$$

प्रवात फर्नेस कोक में राख, गंधक और फास्फोरस की मात्रा कम होना अपेक्षित है। राख में वृद्धि के साथ कोक की ऊष्मीय अर्हा घट जाती है, जिससे फर्नेस के उदर में उद्भावित ताप में अवांछनीय कमी आ जाती है।

कोक फर्नेस में अपचयन और ऊष्मा प्रदान करता है। यही फर्नेस के उदर में ठोस दशा में प्रवेश करता है। चार्ज के अन्य घटक उदर में प्रविष्ट होने के पूर्व ही लेपी और द्रवित हो जाते हैं। अच्छे कोक की संमर्दन शक्ति ५०० से १००० पौंड प्रति वर्गइंच, सुषिरता ३५ से ५० प्रतिशत और ऊष्मीय अर्हा ११००० से १३००० ब्रि० उ० मा० होनी चाहिए।

चून पत्थर—

यह सामान्यतः ओर (अयस्क) के साथ मिश्रित कर फर्नेस में चार्जित किया जाता है। ओर के समान चून पत्थर की परिमा महत्त्वपूर्ण है। इसके साथ अशुद्धि के रूप में सिलिका के सिध्म[2] होने से उपलब्ध

१. Crushing power

२. Pitch

क्षार कम हो जाता है। इस कारण अधिक फ्लक्स (स्यंदन) चार्ज करना पड़ता है।

विधि का रसायन—

शीर्ष से चार्जित होने पर प्रभार धीरे-धीरे फर्नेस में अवरोहित होता है और उसका ताप बढ़ता जाता है। फर्नेस के मुँह का ताप लगभग २००° से० होता है और क्षिपों के संतल पर बढ़कर लगभग १८००° से० हो जाता है। ताप की वृद्धि के साथ-साथ गैसों की अपचयन तीव्रता भी अधिक होती जाती है। CO और CO_2 के योग में CO की प्रतिशतता क्षिपों के संतल पर १००% और फर्नेस के मुँह में लगभग ७०% रहती है।

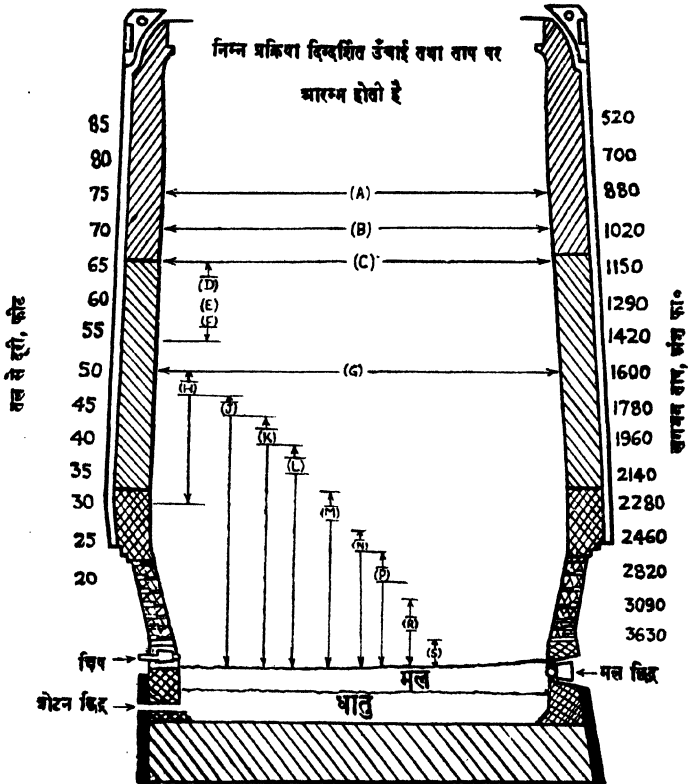
फर्नेस के मुँह से क्षिपों के संतल[1] तक (८५ से ९० फुट) की यात्रा में चार्ज को लगभग १५ घंटे लग जाते हैं। यही दूरी उलटी दिशा में गैसें एक मिनट से कम समय में पार कर लेती हैं। अवरोहण में ठोस पदार्थों का क्रमशः ऊष्मन और अपचयन[2] होता है। चार्ज में कोक ही ऐसा पदार्थ है जो क्षिपों के संतल तक ठोस दशा में रह पाता है। अन्य सभी पदार्थ उदर में प्रविष्ट होते होते द्रवित हो जाते हैं। विभिन्न प्रक्रियाओं के अनुसार फर्नेस को निम्नलिखित प्रदेशों में विभक्त किया जा सकता है। इन प्रदेशों का एक दूसरे से स्पष्ट विलगन नहीं रहता। वे एक दूसरे में क्रमशः विलीन होते हैं।

(१) तापन और शुष्कन प्रदेश—

फर्नेस में प्रवेश करते ही चार्ज का शीर्ष से बाहर निकलती गैसों से सम्पर्क होता है। इन गैसों का ताप लगभग २००° से० रहता है। फर्नेस

१. Level

२. Reduction

में लगभग १० फुट अवरोहण में चार्ज का ताप ४००° से० हो जाता है और उसकी आर्द्रता निकल जाती है।

चित्र १५—प्रवात फर्नेस के विभिन्न प्रक्रिया क्षेत्र

(२) **अपचायक प्रवेश—**

अधिक नीचे उतरने पर तापमान तथा कार्बन और CO की अपचयन

प्रचंडता बढ़ती जाती है। लगभग ५० फुट नीचे आने तक चार्ज के लोह आक्साइड का अपचयन हो जाता है। इस संतल पर विद्यमान ताप लगभग १०५०° से० समझना चाहिए। लोह आक्साइड का अपचयन निम्नलिखित क्रम से होता है—

$Fe_2O_3 \rightarrow Fe_3O_4 \rightarrow FeO \rightarrow Fe$

इस प्रदेश के शीर्ष भाग में Fe_2O_3 और Fe_3O_4 तथा निचले भाग में FeO और Fe अधिक स्थायी रहते हैं। इस कारण यदि शीर्ष भाग में Fe_2O_3 का अपचयन होकर धातुकीय लोह बन भी जाय तो उसके पुनः आक्सीकरण की उग्र प्रवृत्ति रहेगी।

(३) चून पत्थर का निस्तापन[१]—

अपचायक प्रदेश के निचले भाग में चून पत्थर का निस्तापन होकर CaO और CO_2 की प्राप्ति होने लगती है। CaO की फ्लक्सन (स्यंदन) क्रिया प्रारंभ हो जाती है और निकसित CO_2 फर्नेस गैसों के साथ ऊपर उठती है।

(४) प्रारंभिक मल का करण—

यह प्रदेश उदर के शीर्ष भाग के समीप स्थित रहता है, जहाँ पदार्थ लेपी दशा में प्रवेश करते हैं और द्रवित होने लगते हैं। कम गलनांक वाले खनिज द्रवित हो जाते हैं और SiO_2 तथा FeO की प्रक्रिया होकर सुगलनीय मल बन जाता है। अपचयित स्पंजी लोह (जो इस यात्रा में कार्बनित हो जाता है) धीरे-धीरे द्रवित होने लगता है। गलित मल (जिसमें FeO की मात्रा लगभग ३५% होती है) कोक और चूने के टुकड़ों पर से बहता हुआ फर्नेस के अधिकतम तापवाले प्रदेश में प्रवेश करता है, जहाँ

१. Calcination

CaO और MgO, FeO को विस्थापित कर देते हैं और लोह आक्साइड का अपचयन हो जाता है।

(५) अंतिम प्रक्रियाएँ

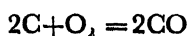
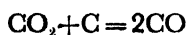
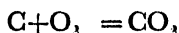
इस प्रदेश में रासायनिक सक्रियता की प्रचंडता अत्यधिक होती है। वातावरण प्रबल अपचायक और ताप अधिकतम (लगभग १८००° से०) रहता है। आंशिक रूप में कार्बनित द्रवित लोह श्वेत गरम कोक के संपर्क में आकर अति तप्त और कार्बन से संतृप्त हो जाता है। इसी प्रदेश में SiO_2, MnO, P_2O_5 का अपचयन होता है और प्रक्रिया के फलस्वरूप प्राप्त तत्त्व धातु में विलयित हो जाते हैं। उच्च ताप और क्षारीय तरल मल के कारण धातु का गंधकहरण[१] होता है। चित्र १५ में फर्नेस में विभिन्न प्रदेश दिखाये गये हैं।

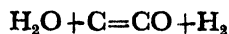
ऊर्ध्वगामी गैसें —

वायु-प्रवात क्षिपों द्वारा फर्नेस में प्रवेश करता है और कोक का दहन करता है।

$$C+O_2 = CO_2$$

$$CO_2+C = 2CO$$

$$2C+O_2 = 2CO$$

प्रवात में विद्यमान वाष्प उत्तापदीप्त कोक के संपर्क में आकर विबंधित[२] होता है।

$$H_2O+C = CO+H_2$$

इस समय गैसों का सैद्धान्तिक विश्लेषण इस प्रकार का होता है —

१. Desulphurization

२. Decomposed

$CO - 35\%$
$N_2 - 64\%$
$H_2 - 1\%$

इस प्रदेश का ताप अत्यधिक उच्च होने के कारण CO_2 यहाँ स्थायी नहीं रह सकती। कार्बन का दहन होकर शत-प्रतिशत CO गैस बनती है। इस कारण इसे 'CO_2 अस्थिरता प्रदेश' भी कहते हैं। यहाँ CO द्वारा अपचयन संभव नहीं है। जो भी अपचयन इस प्रदेश में होता है वह प्रत्यक्ष रूप में कार्बन द्वारा होता है।

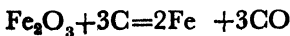
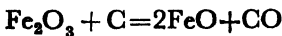
गैसों के ऊपर उठने पर CO_2 की स्थिरता अधिक होती जाती है और $CO_2 + C = 2CO$ की गति कम होती जाती है। चून पत्थर निस्तापन प्रदेश में CO_2 की काफी मात्रा निकासित होती है और लोह आक्साइड के अपचयन से भी CO_2 का उत्पादन होता है।

विलयन हानि—

फर्नेस में चार्जित फ्लक्स का निस्तापन ६००° से० पर प्रारंभ होकर १०००° से० तक चलता रहता है। इस ताप परास में CO_2 और कार्बन की प्रक्रिया होकर CO गैस बनती है। इसे 'विलयन हानि' कहते हैं। ऐसा अनुमान किया गया है कि इस प्रकार फ्लक्स (स्यंदन) के भार की ८ प्रतिशत कार्बन की हानि होती है।

विलयन हानि निम्नलिखित प्रक्रियाओं के फलस्वरूप भी होती है—

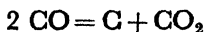
$Fe_2O_3 + C = 2FeO + CO$

$Fe_2O_3 + 3C = 2Fe + 3CO$

उपर्युक्त प्रक्रियाएँ अयस्क और ईंधन के प्रत्यक्ष संपर्क से होती हैं। इस कारण यदि प्रभार में चूर्णित अयस्क[1] अधिक हो जाय तो विलयन हानि बढ़ जाती है।

१. Powdered ore

कार्बन का निक्षेपण—

चानक के शीर्ष भाग में CO का विबंधन होकर कार्बन का निक्षेपण[1] होता है।

$2\,CO = C + CO_2$

यह तापद[2] प्रक्रिया होने के कारण, फर्नेस के इस भाग में विद्यमान कम ताप इसकी प्रगति के लिए अनुकूल पड़ता है। फर्नेस में विद्यमान लोह आक्साइड इस प्रक्रिया का उत्प्रेरण करता है।

कार्बन मोनोक्साइड के विबंधन की गति कम होती है। ऊर्ध्वगामी गैसों का वेग अधिक होने के कारण CO की पर्याप्त मात्रा फर्नेस से निष्क्रमित हो जाती है।

फर्नेस से बाहर निकलनेवाली गैसों में CO और CO_2 का अनुपात लगभग दो होता है।

प्रवात फर्नेस मल का आचरण

प्रविधि में मल निम्नलिखित महत्त्वपूर्ण कार्य करता है—

(१) ओर, कोक और चून पत्थर में विद्यमान विजातीय पदार्थों की प्रक्रिया होकर मल बनता है और कम आपेक्षिक गुरुत्व होने के कारण धातु की सतह पर तैरता रहता है।

(२) विधि में सफल विगंधकीकरण मल का नियंत्रण कर ही संभव होता है।

प्रवात फर्नेस मल में CaO, SiO_2, MgO और Al_2O_3 प्रधान घटक होते हैं। इनकी मात्रा लगभग ९०% और शेष FeO, MnO, MnS, CaS की मात्रा लगभग १०% होती है। मल में विद्यमान CaO ओर

१. Deposit

२. Exo-thermic (ऊष्माक्षेपक)

MgO क्षारीयता बढ़ाते हैं और मल को विगंधकीकरण की शक्ति देते हैं। MgO की उपस्थिति से मल की तरलता बढ़ती है और इस प्रकार परोक्षरूप में विगंधकीकरण में सहायता मिलती है। SiO_2 मल का प्रधान अम्लीय घटक रहता है। Al_2O_3 का आचरण उभयधर्मी होता है। प्रवात फर्नेस मल में इसकी मात्रा लगभग १६% रहना अपेक्षित है, इससे कम या अधिक मात्रा होने पर मल की श्यानता बढ़ जाती है और फर्नेस के कार्यन में कठिनाई होने लगती है। भारतीय प्रवात फर्नेसों का प्रकार्य, मल में Al_2O_3 की मात्रा अधिक (२६%) होने के कारण जटिल हो गया है।

मल के रासायनिक समास[1] और आचरण पर पिग लोह का रासायनिक विश्लेषण निर्भर रहता है। बिगंधकीकरण के लिए क्षारीय मल होना आवश्यक है परन्तु केवल CaO द्वारा मल की क्षारीयता बढ़ाने से तरलता की कमी के कारण विगंधकीकरण संतोषप्रद नहीं होता। इसके लिए MgO की उपस्थिति आवश्यक है। Al_2O_3 मल के "मुक्त प्रवाह ताप" का उन्नयन कर पिग लोह में अधिक सिलिकन की प्रवृत्ति बढ़ाता है और मल को तनु बनाकर उसकी क्षारीयता कम कर देता है। यह विगंधकीकरण के लिए वांछनीय नहीं है। मैंगनीज़ और गंधक की घनिष्ठ बन्धुता होने के कारण चार्ज में मैंगनीज की उपस्थिति विगंधकीकरण में योग देती है। प्रक्रिया के फलस्वरूप प्राप्त MnS धातु में अविलेय होने के कारण ऊपर उठकर सरलता से मल में मिल जाता है। मल में $\frac{CaO + MgO}{SiO_2}$ के अनुपात को क्षारीयता कहते हैं। कोक विधि में मल की क्षारीयता का परास १·३ से १·४ होता है।

१. Composition

पिग लोह् के रासायनिक समास का नियंत्रण

सिलिकन

पिग लोह् में सिलिकन की मात्रा बहुत महत्त्वपूर्ण है। विभिन्न इस्पात उत्पादन विधियों में सिलिकन की मात्रा का व्यापक प्रभाव पड़ता है। इस पर आगे विस्तारपूर्वक विचार किया गया है। पिग लोह् में सिलिकन की मात्रा निम्नलिखित घटकों पर निर्भर रहती है—

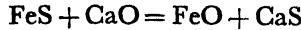
(१) **ताप**—फर्नेस के उदर में उद्भूत ताप जितना उच्च होगा, सिलिकन की उतनी ही अधिक मात्रा अपचयित होकर धातु में समाविष्ट होगी।

(२) **मल का संगठन**—मल में अधिक क्षारीयता होने पर SiO_2 चूने के साथ प्रक्रिया कर मल में प्रविष्ट होगा। अत्यधिक Ca O की उपस्थिति से मल का मुक्त प्रवाह ताप इतना अधिक उन्नयित हो जाता है कि फर्नेस प्रकार्य में कभी-कभी चून पत्थर की मात्रा बढ़ाने पर धातु में सिलिकन की प्रतिशतता अधिक होने का विरोधाभास होता है। चार्ज में विद्यमान $Al_2 O_3$ मल की क्षारीयता को तनु करता है और मुक्त प्रवाह ताप को उठाता है, जिसके कारण पिग लोह् में सिलिकन की अधिक मात्रा होने की प्रवृत्ति बढ़ जाती है। इसके विपरीत Mg O, मल की क्षारीयता को कायम रखते हुए उसकी तरलता में वृद्धि कर सिलिकन की अपचयित मात्रा को कम करता है।

गंधक

इस्पातों में गंधक बहुत हानिकारक अशुद्धि माना जाता है। इस्पात को गरम हानित कर यह उसे उच्च ताप पर बेलन (रोलिंग) के अयोग्य बना देता है। क्षारीय विद्युत चाप फर्नेस के अतिरिक्त अन्य इस्पात उत्पादन विधियों में विगंधकीकरण पर निश्चित और समुचित नियंत्रण नहीं रहता। इस कारण प्रवात फर्नेस में गंधक की अधिक से अधिक मात्रा घटाने का प्रयत्न किया जाता है। इसके निष्कासन के लिए क्षारीय और

तरल मल, उच्च ताप और अधिक मैंगनीज़ प्रतिशत बहुत सहायक होते हैं। फर्नेस में विगंधकीकरण प्रक्रिया इस प्रकार होती है—

$$FeS + CaO = FeO + CaS$$

इस प्रक्रिया के फलस्वरूप उत्तरोत्तर विगंधकीकरण करने के लिए FeO का अपचयन करना आवश्यक है। इस प्रकार अपचायक वातावरण और उच्च ताप विगंधकीकरण के लिए अपेक्षित है, परन्तु ये दोनों घटक पिग लोह में सिलिकन की मात्रा अधिक होने की प्रवृत्ति बढ़ाते हैं। इस प्रकार विगंधकीकरण और कम सिलिकन का अपचयन करनेवाले घटकों में परस्पर विरोध होने से कम सिलिकन, कम गंधक वाले पिग लोह का उत्पादन करना कठिन होता है।

फास्फोरस

अपचायक वातावरण होने के कारण चार्ज में विद्यमान फास्फोरस की कुल मात्रा पिग लोह में प्रविष्ट हो जाती है। प्रवात फर्नेस में निस्स्फुण हरण नहीं किया जा सकता। यदि कम फास्फोरस प्रतिशत अपेक्षित है तो चार्ज का चुनाव सावधानीपूर्वक किया जाना चाहिए। फर्नेस में फास्फोरस की जितनी भी मात्रा चार्जित होगी वह सब पिग लोह में विलयित हो जायगी।

मैंगनीज़

पिग लोह में विलयित मैंगनीज़ की प्रतिशतता चार्ज में मैंगनीज़ की मात्रा और फर्नेस के प्रक्रिया प्रदेश में उद्भावित ताप पर निर्भर रहती है। ताप अधिक होने पर पिग लोह में मैंगनीज़ की प्रतिशतता बढ़ जायगी। विभिन्न इस्पात उत्पादन विधियों में मैंगनीज़ के महत्त्व की विस्तारपूर्वक विवेचना की गयी है। सामान्यतः चार्ज में विद्यमान मैंगनीज़ की ६०% मात्रा पिग लोह में और ४०% मात्रा मल में प्रविष्ट होती है।

पिग लोह का त्रोटन और वितरण

फर्नेस के कूप में एकत्रित पिग लोह दिन में चार-पाँच बार त्रोटित किया

जाता है। खोदकर और कभी-कभी आक्सीजन कर्तन (कटिंग) का उपयोग कर त्रोटन-छिद्र खोला जाता है। प्रवात फर्नेस से त्रोटित पिग लोह का अपवहन निम्नलिखित तीन प्रकारों से किया जाता है—

(१) बालू की नालियों में ढलाई।

(२) पिग संवपन यंत्र[1] में ढलाई।

(३) इस्पात का उत्पादन करने के लिए इस्पात संयंत्र में गलित पिग लोह का संभरण (सप्लाई)।

बालू की नालियों में ढलाई

फर्नेस के सामने बनी बालू की नालियों में पिग लोह की ढलाई,

चित्र १६—पिग लोह की ढलाई के लिए बनायी गयी बालू की नालियाँ

संपिडन करने की सबसे पुरानी रीति है। चित्र १६ में फर्नेस और उसके मंचक पर बालू में बनायी गयी नालियाँ दिखायी गयी हैं। पिग लोह मुख्य

१. Casting machine

धावक में प्रवाहित होते समय विभिन्न शाखाओं में भर जाता है। मुख्य धावक में त्रोटन छिद्र से कुछ दूर लोह का रोधक पट्ट लगा दिया जाता है। इससे धातु के साथ निकलनेवाला मल रुकता है और रोधक पट्ट के नीचे से पिग लोह प्रवाहित होता रहता है। बालू में धातु के इस प्रकार संपिंडन से ही यह उपमा चल निकली कि मानो माँ शूकरी (पिग) लेटकर बच्चों को स्तनपान करा रही हो। तभी से प्रवात फर्नेस से निकली धातु पिग लोह कही जाती है। वर्तमान विधि में अधिकांश प्रवात फर्नेस धातु गलित दशा में इस्पात संयंत्रों में भेजी जाती है अथवा संवपन यंत्र में संपिंडित की जाती है, फिर भी परंपरा के अनुसार उसे पिग लोह ही कहा जाता है। बालू की नालियों में पिग लोह को ढलाई निम्नलिखित कारणों से वांछनीय नहीं समझी जाती—

(१) पिगों के संपिंडित होने पर साथ में बालू चिपकी रह जाती है जिसके कारण ये पिग क्षारीय विधियों द्वारा इस्पात का उत्पादन करनेवाली फर्नेसों के अयोग्य बन जाते हैं। बालू अम्लीय होने के कारण फर्नेसों के क्षारीय अस्तर को संक्षयित[1] करती है। उसका निराकरण करने के लिए अधिक क्षारीय पदार्थों की आवश्यकता पड़ती है।

(२) पिग लोह की ढलाई फर्नेस के मंचक पर करने के लिए बहुत खाली स्थान आवश्यक होता है।

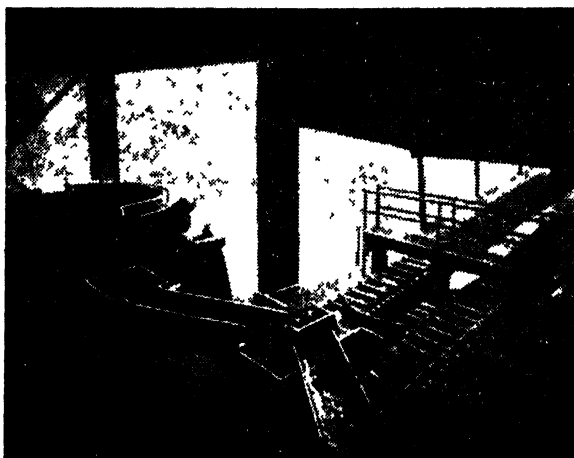
(३) प्रवात फर्नेस और संबंधित उपकरणों के प्रकार्य तथा पिग की ढलाई एक ही स्थान पर होने से कार्यन में असुविधा और गड़बड़ी होती है।

(४) पिग लोह के संपिंडन में ऊष्मा निप्रथन[2] के कारण पूरे संयंत्र का तापमान बढ़ जाता है और कार्य करना अत्यन्त कष्टकारक बन जाता है।

१. Corrode (संक्षारित) २. Dissipation

इन सब दोषों के होते हुए भी कुछ फर्नेसों में ढलाई बालू की नालियों में की जाती है। भारत में भद्रावती लोह और इस्पात कारखाने में पिग लोह इसी प्रकार संपिंडित किया जाता है। बालू की नालियों में पिगों के पर्याप्त शीतल होने पर उन्हें अयोघनों द्वारा तोड़कर वैगनों में लाद दिया जाता है।

पिग संवपन यंत्र

बीड़[1] के मोल्डों में पिग लोह की ढलाई करने के लिए चित्र १७ में दिखाया गया सिद्धान्त प्रयुक्त होता है। दो बड़े बेलनों पर अन्तहीन

चित्र १७—बीड़ के मोल्डों में पिग लोह की ढलाई

शृंखला धीरे-धीरे चलती है। इस शृंखला पर बीड़ के मोल्ड लगे रहते हैं। एक छोर पर लेडिल से गलित पिग लोह मोल्डों में गिराया जाता है। पिग

१. Cast iron ढलवाँ लोहा

लोह् शीतल मोल्ड में गिरकर शीघ्रता से अभिशीतित हो जाता है। आगे बढ़ने पर जल की फुहारों द्वारा धातु-भरे मोल्डों को शीतल किया जाता है। यंत्र के दूसरे छोर पर मोल्ड स्वयमेव उलट जाते हैं और पिग लोह् नीचे खड़े वैगन में गिर जाता है। वापसी यात्रा में मोल्डों को चूना-जल से शीकरित[१] किया जाता है, जिससे उन पर चूने का पतला आवरण चढ़ जाता है। यह पिगों को निर्यासित होने से रोकता है और मोल्डों का संक्षय घटाता है।

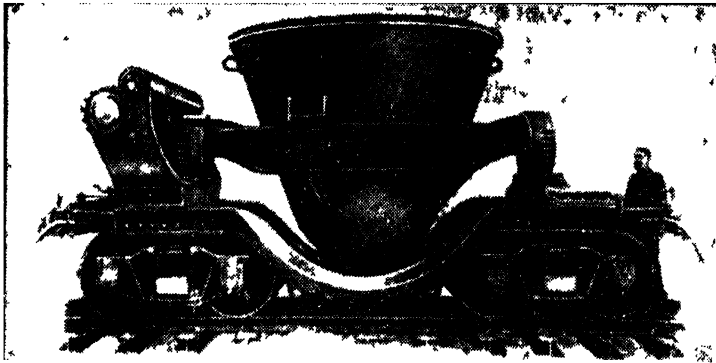
गलित पिग लोह् का परिवहन

संयुक्त लोह् और इस्पात कारखाने में पिग लोह् लेडिलों में भरकर इस्पात संयंत्र में भेजा जाता है, जहाँ बहुधा उसका संचय गरम धातु-मिश्रकों में किया जाता है। पिग लोह् लेडिलों में लगभग एक घंटे बिना किसी कठिनाई के गलित रूप में रखा जा सकता है। फर्नेस का त्रोटन[२] समाप्त होने पर मड गन[३] द्वारा त्रोटन छिद्र को बंद कर दिया जाता है। मडगन का मुँह त्रोटन छिद्र में लगाकर वेग से मिट्टी के गोले छिद्र में भर दिये जाते हैं।

मल का अपवहन[४]

एक टन पिग लोह् के उत्पादन में सामान्यतः ०.६ टन मल बनता है। मल की मात्रा चार्ज में विद्यमान विजातीय पदार्थों और फर्नेस के कार्यन के अनुरूप आधे टन से एक टन तक हो सकती है। कम आपेक्षिक गुरुत्व के कारण मल का आयतन पिग लोह् की तुलना में अधिक होता है, जिससे इसका त्रोटन अनेक बार करना पड़ता है। दिन में दस-बारह बार मल फर्नेस से बाहर निकाला जाता है और नालियों में बहकर मल-पात्रों में

१. Sprayed २. Tapping
३. Mudgun
४. Disposal

एकत्रित होता है। चित्र १८ में मल-पात्र दिखाया गया है। यह अभ्यानम्य[1] होता है जिससे गलित मल प्रवात फर्नेस संयन्त्र से दूर ले जाकर द्रव दशा

चित्र १८—मल पात्र

में उड़ेल दिया जाता है। कभी-कभी द्रव मल को द्रुत गति से बहती हुई पानी की धारा में बुझाकर कणिकीय कर लेते हैं। इस प्रकार ठंडे किये मल और जल का मिश्रण एक जलाशय में एकत्रित किया जाता है, जहाँ मल नीचे बैठ जाता है और ऊपर से जल निथार लिया जाता है।

प्रवात फर्नेस के बाहर पिग लोह का गंधकहरण[2]

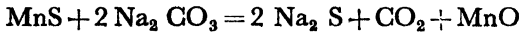
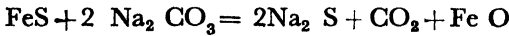
विधि की रासायनिक प्रक्रियाओं का विवेचन करते समय यह स्पष्ट किया गया था कि फर्नेस में समुचित गंधकहरण के लिए क्षारीय तरल मल, उच्च ताप और अपचायक वातावरण आवश्यक है। फर्नेस के चार्ज में Al_2O_3 की मात्रा अधिक होने पर मल की क्षारीयता कम हो जाती है और

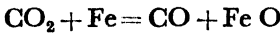
१. Tilting २. Desulphurisation

उसका मुक्त प्रवाह-ताप बढ़ जाता है। इस कारण गंधकहरण करने में कठिनाई खड़ी हो जाती है और लोह में अधिक सिलिकन आने की प्रवृत्ति बढ़ जाती है। इस समस्या का समाधान करने के लिए पिग लोह का प्रवात फर्नेस के बाहर गंधकहरण किया जाता है। इसके लिए निम्नलिखित विधियों का विशेष सफलतापूर्वक उपयोग किया गया है—

(१) **चूना और सोडा द्वारा उपचार**—लेडिल में रखे पिग लोह में $Na_2\ Co_3$ और CaO डालकर मिश्रण किया जाता है, जिससे निम्नलिखित प्रक्रियाएँ होती हैं—

$$FeS + 2\ Na_2\ CO_3 = 2Na_2\ S + CO_2 + Fe\ O$$

$$MnS + 2\ Na_2\ CO_3 = 2\ Na_2\ S + CO_2 + MnO$$

उच्च ताप पर CO_2 और लोह के साथ प्रक्रिया होती है।

$$CO_2 + Fe = CO + Fe\ O$$

इस प्रकार निकली CO और CO_2 गैसें धातु का विलोड़न[1] करती हैं। चूने की उपस्थिति में सोडियम सिलिकेट के रूप में सोडा की हानि नहीं हो पाती।

गंधकहरण की यह विधि सस्ती और सरल है, परन्तु इसमें निम्नलिखित दोष हैं—

(१) गंधकहरण की गति मन्द होने के कारण धातु में गंधक की प्रतिशतता कम करने के लिए कई बार उसका उपचार करना आवश्यक हो जाता है। इससे पिग लोह का ताप कम हो जाता है और समय भी बहुत लगता है।

(२) इस विधि में बने संक्षायक मल को पूर्णतः निकालना कठिन होता है, जिससे मिश्रक और फर्नेसों में अग्निरोधक अस्तरों को नुकसान पहुँचता है।

1. Stirring

(३) विधि काल में निकाला धुंआ स्वास्थ्य के लिए हानिकर होता है।

पिग लोह में क्षोदित[1] चूने का धमन—धातु में नलिका डालकर नाइट्रोजन गैस द्वारा क्षोदित चूने का धमन करने से लगभग ३ से ५ मिनट में गंधकहरण समाप्त हो जाता है। यह विधि फ्रांस में विकसित की गयी है और ऐसा कहा जाता है कि पिग लोह के ताप की अधिक हानि हुए बिना इसके द्वारा गंधक की मात्रा में बहुत कमी की जा सकती है।

(३) **काल्डू गंधकहरण विधि**—गलित पिग लोह और चूर्णित चूना एक बेलनाकार परिभ्रामी[2] फर्नेस में गलित पिग लोह के साथ मिश्रित कर प्रति मिनट ३० बार की गति से घूर्णित किया जाता है। फर्नेस में अपचायक वातावरण बनाये रखने के लिए दोनों छोरों को संमुद्रित कर दिया जाता है। इस प्रकार १५ से ३० मिनट में पिग लोह का गंधकहरण ०.१% से ०.०१% तक हो जाता है और इसमें चूने की खपत धातु के भार की लगभग एक प्रतिशत होती है। यह विधि स्वीडन में विकसित की गयी है। धातु का उपचार करने के लिए ६० टन धारितावाली फर्नेसों का गठन किया गया है।

जले कोयले का उपयोग

प्रवात फर्नेस के विकास के प्रारंभिक दिनों में जला कोयला प्रधान ईंधन हुआ करता था, परन्तु पिग लोह का उत्पादन बढ़ने से वनों के विनाश की गति इतनी बढ़ गयी कि कानून बनाकर उसका उपयोग रोकना पड़ा। वर्तमान समय में ९८ प्रतिशत से अधिक पिग लोह का उत्पादन कोक प्रवात फर्नेसों द्वारा किया जाता है। भारत में भद्रावती लोह और इस्पात कर्मक[3] में ८० टन धारितावाली फर्नेस अपने ढंग की अकेली है जिसमें जला

१. Powdered चूर्णित २. Rotating ३. Works

कोयला व्यवहृत होता है। शेष सभी प्रवात फर्नेसों में ईंधन के रूप में कोक का उपयोग किया जाता है।

कोक की तुलना में जला कोयला शुद्ध ईंधन है। इसमें गंधक और फास्फोरस की मात्रा नगण्य होती है और राख की प्रतिशतता भी १.५% से अधिक नहीं होती। इस कारण विशिष्ट पिग लोहों का उत्पादन करने के लिए यह ईंधन बहुत उपयुक्त है। संधानी[१] श्रेणी के पिग लोहों का उत्पादन भली प्रकार किया जा सकता है। जले कोयले की संमर्दन शक्ति कोक की तुलना में बहुत कम होने के कारण इसका उपयोग करनेवाली फर्नेसों की परिमा (साइज) अधिक नहीं बढ़ायी जा सकती। जले-कोयले से चालित विश्व में सबसे बड़ी प्रवात फर्नेस कनाडा में स्थित है और उसकी उत्पादन-क्षमता १६० टन पिग लोह प्रति दिन है। आधुनिक कोक-चालित प्रवात फर्नेसों की धारिता २००० टन पिग लोह प्रति दिन तक बढ़ा दी गयी है। कम उत्पादन-क्षमता के साथ इस ईंधन का संभरण (प्रदाय) सीमित होने के कारण प्रवात फर्नेसों में जले कोयले का उपयोग अधिक नहीं बढ़ सका। सारणी ६ में कोक और जले कोयले से चालित भारतीय फर्नेसों से प्राप्त पिग लोह का औसत रासायनिक विश्लेषण दिया गया है।

सारणी–६

	Si	Mn	S	P
कोक पिग लोह	१·२–२·५	०·६–०·८	०·०४–०.०५	०·३–०·३५
जला कोयला पिग लोह	०·५–१·१	०·५–१·०	०·०२	०·१२

१. Foundry

विद्युत पिग लोह फर्नेस

प्रवात फर्नेस में प्रतिभारित कोक, आक्साइडों का अपचयन करता है और फर्नेस में होनेवाली प्रक्रियाओं के लिए ऊष्मा का संभरण करता है। जहाँ कोकीय कोयला उपलब्ध नहीं होता, लोह उद्योग की स्थापना और विकास में कठिनाई आ जाती है। दक्षिण भारत में कोकीय कोयलों के निक्षेप नहीं हैं। नार्वे, स्वीडन, फिनलैंड इत्यादि देशों में भी कोकीय कोयलों की कमी है। अतः विद्युत पिग लोह फर्नेसों का गढ़न और विकास किया गया है। भद्रावती में दो ऐसी फर्नेसों में पिग लोह का उत्पादन किया जाता है।

इन फर्नेसों में ऊष्मा विद्युत-शक्ति द्वारा उत्पन्न की जाती है और कार्बनमय पदार्थ, जैसे कोयला, कोक, जले कोयला इत्यादि की आवश्यकता केवल आक्साइडों के अपचयन के लिए रह जाती है, जो प्रवात फर्नेस की तुलना में केवल ४५% होती है। कम ईंधन की आवश्यकता के फलस्वरूप विधि में ईंधन की अशुद्धियों का प्रवेश कम होने से आवश्यक फ्लक्स तथा उत्पादित मल की मात्रा घट जाती है। इन फर्नेसों में ताप का नियंत्रण श्रेष्ठ होता है और अशुद्धियों (विशेषतः गंधक) रहित पिग लोह का उत्पादन सरल होता है।

विद्युत पिग लोह फर्नेसों की औसत उत्पादन-क्षमता लगभग १०० टन प्रति दिन होती है और एक टन पिग लोह के उत्पादन में लगभग २५०० K.W.H. विद्युत-शक्ति की आवश्यकता पड़ती है। यह अनुमान लगाया गया है कि यदि एक पौंड कोक का मूल्य १·८ विद्युत इकाई के तुल्य हो तो विधि का कार्यन लाभप्रद हो सकता है। इस फर्नेस से प्राप्त होनेवाली गैस की ऊष्म अर्हा प्रवात फर्नेस गैस की तुलना में श्रेष्ठ होती है। विद्युत-शक्ति की उपलब्धि के अनुसार फर्नेस की उत्पादन-क्षमता कम या अधिक रखी जा सकती है।

दक्षिण भारत में कोकीय कोयलों का सर्वथा अभाव है। पूरे देश में यह अनुमान किया गया है कि सभी वर्गों के कोयलों के कुल संचय लगभग ६००० करोड़ टन और इनमें कोकीय कोयलों की मात्रा २०० करोड़ टन

है। यह स्थिति संतोषजनक नहीं मानी जा सकती, कारण कि वर्तमान प्रगति को ध्यान में रखते हुए भारत के कोकीय कोयलों के संचय लगभग ५०-६० वर्षों में समाप्त हो जायँगे। इस कारण कोकीय कोयलों के बिना कार्य करनेवाली विधियों का भारत के लिए विशेष महत्त्व है।

लघु चानक फर्नेस

इसे शिशु प्रवात फर्नेस माना जा सकता है। इन फर्नेसों में पर्याप्त ऊष्म अर्हावाले किसी भी ईंधन का उपयोग किया जा सकता है। सूक्ष्म भाजित 'ओर' फ्लक्स और ईंधन की इष्टिकाएँ बनाकर फर्नेस में प्रतिभारित[1] की जाती हैं।

लघु चानक[2] फर्नेसों में आक्सीजन समृद्ध प्रवात संभरित किया जाता है। अक्रिय गैस नाइट्रोजन की मात्रा में कमी के कारण, फर्नेस के उदर में उच्च ताप का उद्‌भव होता है और संवेद्य ऊष्मा[3] की हानि कम हो जाती है। लघु चानक होने के कारण चार्ज का सज्जन[4] संतोषजनक न होने से अधिकांश अपचयन प्रत्यक्ष होता है। इस प्रकार प्रति टन पिग लोह के उत्पादन के लिए अधिक ईंधन की खपत होती है।

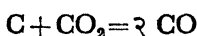
इन फर्नेसों की उत्पादन-क्षमता ६० से १०० टन प्रति दिन होती है। कोकीय कोयलों के बिना कार्य करना इन फर्नेसों की सबसे बड़ी विशेषता है। इसी कारण सभी देशों में इन फर्नेसों के विकास को ध्यानपूर्वक देखा जा रहा है।

प्रवात फर्नेस के विकास में आधुनिक प्रवृत्तियाँ

(१) **उच्च शीर्ष प्रेरण प्रक्रिया**—सामान्य प्रवात फर्नेस के शीर्ष

१. Charged २. Shaft, ईषा
३. Sensible heat ४. Preparation

से बाहर निकलनेवाली गैसों का प्रेरण[1] १ से २ पौंड प्रति वर्ग इंच होता है। इस प्रेरण को बढ़ाकर १० पौंड प्रति वर्ग इंच कर देने से फर्नेस में गैसों का औसत घनत्त्व लगभग ४० प्रतिशत बढ़ जाता है और गैसों का अनुरेख प्रवेग[2] भी उसी अनुपात में कम हो जाता है। इस प्रकार अधोगामी चार्ज और ऊर्ध्वगामी गैसों का संपर्क सुधर जाता है, गैसों की धूलि-वहन क्षमता कम हो जाती है और फर्नेस में उत्पादन की गति बढ़ायी जा सकती है। अधिक शीर्ष प्रेरण के कारण निम्नलिखित प्रक्रिया होने की प्रवृत्ति घट जाती है—

$$C + CO_2 = २ CO$$

इस प्रकार गैसों में CO_2 की मात्रा बढ़ जाती है।

उच्च शीर्ष दबाव पर कार्बन से धूलि में २२% कमी होती है, कोक की खपत १५% घट जाती है और फर्नेस का उत्पादन २०% बढ़ जाता है। इन फर्नेसों से उत्पादित पिग लोह का रासायनिक समास अधिक सम होता है। उपर्युक्त कारणों से प्रवात फर्नेस के प्रकार्य की यह प्रवृत्ति बहुत सक्षम प्रतीत होती है। भारत में नयी बननेवाली प्रवात फर्नेसों की प्ररचना में उच्च शीर्ष प्रेरण का उपयोग किये जाने की अत्यन्त उज्ज्वल संभावना है।

(२) **कार्बन अग्निरोधकों का उपयोग**—प्रवात फर्नेस में फायर क्ले ईंटों का अस्तर लगभग ५–७ वर्ष चलता है और इस अवधि में १००० टन धारितावाली फर्नेस लगभग १५ लाख टन पिग लोह का उत्पादन करती है। कार्बन अग्निरोधकों का अस्तर लगाने से २५ लाख टन पिग लोह का उत्पादन होने के बाद भी फर्नेस का आन्दोलन[3] बराबर चलता रहता है। ग्रेफाइट के रूप में कार्बन अग्निरोधक व्यवहृत होते हैं। अन्य

१. Pressure (दबाव)
२. Linear velocity
३. Campaign कार्यपरम्परा

तापसह पदार्थों की तुलना में ग्रेफाइट की ताप-चालकता अधिक होती है। इसके साथ कम वेध्यता, अधिक अपघर्षण[1] और संक्षय-रोध तथा उच्च गलनांक के कारण अस्तर का जीवन अधिक होता है। ग्रेफाइट का अस्तर अपेक्षाकृत पतला होने के कारण फर्नेसों का उपलब्ध आयतन और धारिता बढ़ जाती है। उच्च गलनांक और श्रेष्ठ रासायनिक रोध के फलस्वरूप फर्नेस के प्रकार्य में पदार्थों का प्रवाह अच्छा रहता है। फर्नेस के बाहर पिग लोह-वाहिनी नालियाँ भी ग्रेफाइट गुटकों की बनायी जाने लगी हैं। इनमें लोह चिपकता नहीं है और धातु में बालू का मिश्रण बिलकुल मिट जाता है।

(३) **साद का उपयोग**—प्रवात फर्नेस प्रकार्य में साद[2] का उपयोग करने से होनेवाले लाभों को सर्वत्र स्वीकार कर लिया गया है। चूर्ण ओर, धूलि, कोक बजरी[3] और चूने को विभिन्न अनुपातों में मिश्रित कर स्वतः फ्लक्सम साद के लोष्ट बनाये जाते हैं। फर्नेस में साद का उपयोग करने से उत्पादन-क्षमता लगभग १० प्रतिशत बढ़ जाती है और कोक की खपत लगभग १० प्रतिशत कम हो जाती है। सादन प्रकार्य[4] में चून पत्थर का निस्तापन और कुछ लोह का अपचयन होने से गैसों की रासायनिक ऊर्जा का उपयोग सुधर जाता है। साद की भौतिक और रासायनिक दशा अधिक सम और सुषिर होने के कारण फर्नेस का कार्यन[5] सुविधाजनक और व्यवस्थित रहता है।

(४) **अचर आर्द्रता-युक्त प्रवात का उपयोग**—प्रवात में विद्यमान आर्द्रता के महत्त्व की विवेचना पहले की जा चुकी है। वाष्प-संभरण द्वारा

१. Abrasion २. Sinter
३. Coke breeze
४. Sintering operation
५. Furnace working

प्रवात की आर्द्रता ६ कण प्रति घन फुट बढ़ा देने से फर्नेस के उत्पादन में ४ प्रतिशत वृद्धि होती है और फर्नेस का कार्यन अधिक सुचारु हो जाता है। आर्द्रता का संपूर्ण निष्कासन करने की तुलना में यह विधि अधिक सरल और व्यावहारिक है।

(५) **आक्सीजन समृद्ध प्रवात**—द्वितीय विश्वयुद्ध के बाद अपेक्षाकृत शुद्ध आक्सीजन का पुंजोत्पादन कम व्यय पर संभव हो गया है। वायु प्रवात में आक्सीजन प्रतिशत को २०.८ से ३०% करने से निम्नलिखित लाभ होते हैं—

(१) अक्रिय नाइट्रोजन की मात्रा में कमी होने से गैसों द्वारा संवहित संवेद्य ऊष्मा की हानि कम हो जाती है।

(२) फर्नेस में कोक के दहन की गति प्रचंड होने से उसके उदर में उद्भावित ताप बढ़ जाता है।

(३) गैसों का आयतन कम होने से धूलि की कम मात्रा बाहर जाती है और शीर्ष से बाहर जानेवाली गैसों का ताप कम हो जाता है।

आक्सीजन समृद्ध प्रवात का उपयोग करने से गैसों की मात्रा कम होकर अधोगामी चार्ज का समुचित सज्जन नहीं हो पाता। इसमें सन्देह नहीं है कि प्रवात का ताप और आक्सीजन समृद्धि समंजित[1] करने पर भविष्य की प्रवात फर्नेसों की कार्यन-क्षमता (निष्पत्ति) श्रेष्ठतर हो जायगी।

(६) **क्षिपों द्वारा चूने का क्षेपण**—फर्नेस में अम्लीय घटकों को प्रभावहीन कर क्षारीय मल बनाने और धातु का गंधकहरण करने के लिए चूना मिलाया जाता है, परन्तु चार्ज में इसकी मात्रा अधिक बढ़ जाने पर मल श्यान हो जाता है और इस प्रकार चार्ज का अवरोहण कम हो जाता है। क्षिपों[2] द्वारा चूने का क्षेपण कर यह कठिनाई दूर की जाती है। चार्ज में चूने की कम मात्रा रखने से उदर में बने मल की तरलता अधिक रहती

१. Adjusted २. Tuyere (वायुछिद्र)

है, जिसके कारण प्रभार के अवरोहण में कोई कठिनाई नहीं आती। प्रभार में चून पत्थर की मात्रा कम होने से उसके निस्तापन में ऊष्मा का व्यय नहीं होता तथा ऊर्ध्वगामी गैसों में CO_2 की मात्रा न बढ़ने से ओर का परोक्ष अपचयन अधिक होता है। क्षिपों द्वारा चूने का क्षेपण करके मल का रासायनिक समास अधिक अच्छे प्रकार से समंजित और नियंत्रित किया जा सकता है तथा गंधकहरण के लिए जहाँ चूने की सर्वाधिक आवश्यकता होती है वहाँ उसे सरलतापूर्वक संभरित किया जा सकता है। चूने के द्वारा होनेवाले अभिशीतन को दूर करने के लिए प्रवात का ताप अधिक कर दिया जाता है।

प्रवात फर्नेस के विकास की उपर्युक्त प्रवृत्तियाँ अभी अपने शैशवकाल में ही हैं, परन्तु उनके उपयोग से प्रविधि में होनेवाले लाभों को ध्यान में रखकर उनके उज्ज्वल भविष्य की घोषणा विश्वासपूर्वक की जा सकती है। कच्चे पदार्थों की प्रकृति और उपलब्धि इन संपरिवर्तनों को व्यापक रूप में प्रभावित करेंगी। इस प्रकार वर्तमान प्रवात फर्नेस, जो कोक में विद्यमान ऊर्जा का केवल ४० प्रतिशत उपयोग करती है, भविष्य में अधिक सक्षम हो जायेगी।

अध्याय ६

पिटवाँ लोह

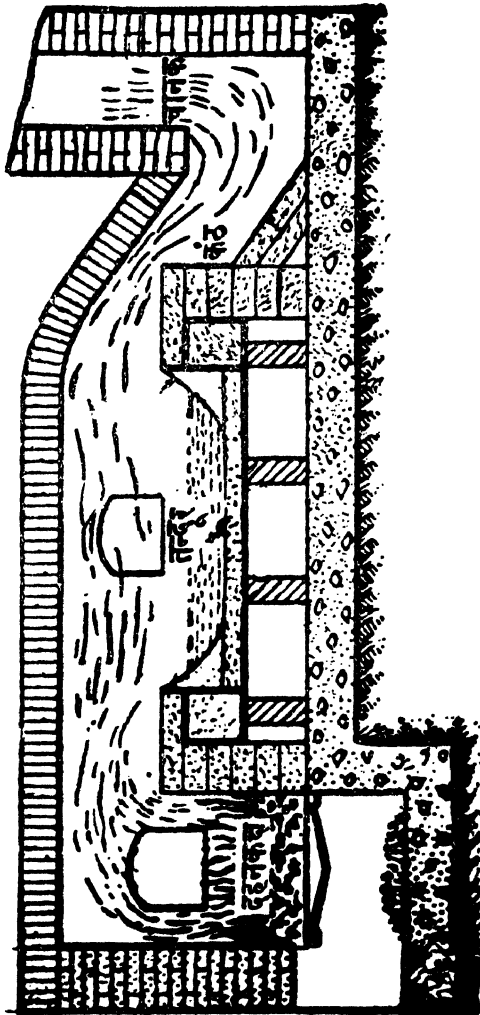
लौहिक पदार्थों में पिटवाँ लोह का उपयोग बहुत पुराना है। साधारण रूप में उपलब्ध लोह में यह सबसे शुद्ध होता है। अपने अच्छे संक्षय-रोध, कम्पन और थकन-रोध, संधान गुण और यंत्रण[1] में सुविधा के कारण पिटवाँ लोह का उपयोग नलियाँ, जंजीरें, हुक, नट बोल्ट, लंगर इत्यादि बनाने में होता है। सीमेन्टन विधि और घरिया-विधि से इस्पात के उत्पादन में पिटवाँ लोह का उपयोग होता था। अलग-अलग किस्म के इस्पातों ने पिटवाँ लोह के इन उपयोगों को काफी कम कर दिया है।

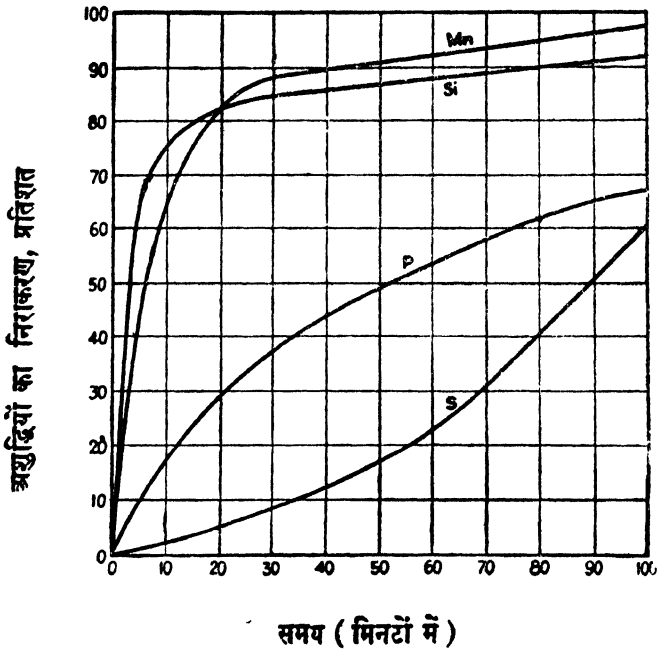
पिटवाँ लोह में मल मिश्रित रहता है। इस कारण एक समान अर्हता की धातु का उत्पादन करने में कठिनाई होती है। इसकी तुलना में इस्पातों का उत्पादन अधिक सरल होने के कारण अनेक उपयोगों में पिटवाँ लोह का महत्त्व कम हो गया है। इसके उत्पादन की दो विधियाँ हैं—(१) प्रधूनन विधि,[2] (२) एस्टन विधि।

प्रधूनन विधि

चित्र १९ में प्रधूनन फर्नेस का खंड दिखाया गया है। दहन कक्ष में लम्बी ज्वालावाला बिटुमिनस कोयला जलाया जाता है। फर्नेस में निम्न-लिखित समास का पिग लोह प्रतिभारित किया जाता है —

१. Welding property २. Puddling process

चित्र १९—प्रघूनन फर्नेस

Si=1−1·5%, S=o.1% से कम, फास्फोरस=1% से कम
Mn=1−1·5%, C=3−3·5%

यदि सिलिकन की मात्रा १% से कम हो तो लोह का अति आक्सीकरण हो जाता है। इसके विपरीत सिलिकन प्रतिशत १·५ से अधिक हो तो उत्पादित मल की मात्रा बहुत बढ़ जाती है। विधि में फास्फोरस का

चित्र २०—समय तथा अशुद्धियों के निराकरण का संबन्ध

निष्कासन होता है, परन्तु धातु के साथ मल का मिश्रण होने के कारण, उसमें फास्फोरस की मात्रा अधिक होने से धातु में भी फास्फोरस की मात्रा बढ़ जाती है। गंधक का निष्कासन आंशिक होने के कारण उसकी मात्रा

कम होनी चाहिए। मैंगनीज़ सरलता से आक्सीकृत हो जाता है, परन्तु उसकी अधिक मात्रा विधि की कार्य-अवधि को बढ़ा देती है। गंधकहरण के लिए मैंगनीज़ की उपस्थिति आवश्यक है।

इस विधि द्वारा पिटवाँ लोह के उत्पादन में लगभग १॥ घंटा लगता है। फर्नेस तंदूर को मिल स्केल या श्रेष्ठ लोह ओर से अवासित किया जाता है। लगभग ५०० पौंड पिग लोह फर्नेस के तंदूर के मध्य में स्थित दरवाजे से प्रतिभरित किया जाता है। विधि में लोह आक्साइड प्रक्रियाओं में सक्रिय भाग लेता है (चित्र २०)।

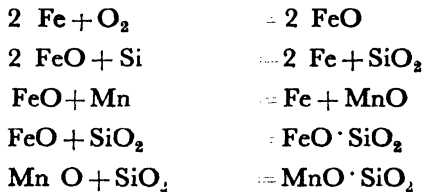
धातु का गलन—लगभग ३० मिनट में प्रभार[1] गल जाता है और गलित लोह की सतह पर मल का पतला आवरण आ जाता है। गलन अवधि में दरवाजा खोलकर प्रधूनक अगलित टुकड़ों को यहाँ-वहाँ हटाकर उनके गलन का वेग बढ़ाता है। इस अवधि में निम्नलिखित प्रक्रियाएँ होती हैं—

$$2\ Fe + O_2 = 2\ FeO$$

$$2\ FeO + Si = 2\ Fe + SiO_2$$

$$FeO + Mn = Fe + MnO$$

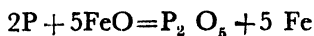
$$FeO + SiO_2 = FeO \cdot SiO_2$$

$$MnO + SiO_2 = MnO \cdot SiO_2$$

इस प्रकार उत्पादित सिलिकेट मल में चले जाते हैं।

लघु क्वथन अवधि—इसकी अवधि लगभग दस मिनट होती है। इस समय फास्फोरस का निष्कासन करने के लिए फर्नेस के ताप को आंशिक रूप से वातयम[2] बंद कर कम कर दिया जाता है और कुंभ की सतह पर लोह ओर (मेगनेटाइट) डाला जाता है। फर्नेस का ताप कम होने से कार्बन के आक्सीकरण की गति घट जाती है। मेगनेटाइट से मल आक्सीकारक तथा क्षारीय बन जाता है और उसका गलनांक कम हो जाता है।

१. Charge २. Damper

इस प्रकार फास्फोरस के निष्कासन में सुविधा होती है। इस काल में होनेवाली रासायनिक प्रक्रियाएँ इस प्रकार हैं—

$$2P + 5FeO = P_2O_5 + 5\ Fe$$
$$P_2O_5 + 3FeO = Fe_3(PO_4)_2$$

उच्च ताप पर लोह फास्फेट की प्रवृत्ति विघटित होने की रहती है।

क्वथन अवधि—फास्फोरस को अपेक्षित मात्रा निकल जाने पर वातयम खोल दिया जाता है। फर्नेस का ताप बढ़ता है और कार्बन के आक्सीकरण से उत्पादित CO कुंभ में प्रबल हलचल मचाती है। इसके फलस्वरूप मल की अधिकांश मात्रा फर्नेस के बाहर निकल जाती है। कुंभ में कार्बन की कमी के साथ लोह का गलनांक ऊपर उठ जाता है। धातु में विद्यमान गंधक प्रमुखतः MnS के रूप में मल में जाता है। यदि पिग लोह में मैंगनीज की मात्रा कम हो तब गंधक का भली प्रकार निष्कासन नहीं होता।

कन्दुकन[१]— फर्नेस में धातु की दशा गलनांक ऊपर उठ जाने के कारण लेपीय हो जाती है। इसके ६० से ८० पौण्ड के कंदुक बनाकर निकाले जाते हैं। इस काल में फर्नेस में आक्सीकरण रोकने के लिए धुएँदार ज्वाला रखी जाती है। फर्नेस से कंदुक निकालने के बाद उसे दाबकर, पीटकर या निष्पीड़ित कर मल की अधिकतम मात्रा निकालने की कोशिश की जाती है। इस क्रिया में मल अलग होने के साथ कंदुक दंड, बिलेट इत्यादि के रूप में आकारित हो जाता है। फिर गरम कर इन्हें अनेक आकारों में बेलित (rolled) किया जाता है (चित्र २१)। धातु के साथ जो मिश्रित मल बच रहता है वह लंबी धारियों के रूप में आकारित हो जाता है। सामान्यतः पिटवाँ लोह का रासायनिक विश्लेषण इस प्रकार रहता है—

१. Balling

C 0. 02%, Si=0.1 %, S 0.02 % P=0. 1%
Mn=0.4% मल 0·04 %

एस्टन विधि

पिटवाँ लोह, मल और शुद्ध लोह का मिश्रण रहता है। इसका उत्पादन करने के लिए एस्टन ने शोधित धातु को मल में गिराकर पिटवाँ लोह उत्पादन का सरल तरीका निकाला। मल का रासायनिक समास प्रधूनन फर्नेस के समरूप रखा जाता है। यह विधि कम कष्ट-साध्य और अधिक उत्पादन देने के कारण अधिक प्रिय हो गयी है।

पिग लोह को कुपला फर्नेस में गलाकर, छोटे परिवर्त्तक पात्रों में धमित कर सिलिकन, मैंगनीज और कार्बन की लगभग सम्पूर्ण मात्रा आक्सीकृत कर निकाल दी जाती है। यह शोधित धातु लेडिल में रखे अत्यंत आक्सी-कारक और क्षारीय मल में डाली जाती है। मल बनाने के लिए खास प्रकार की विवृत तंदूर फर्नेस का उपयोग किया जाता है। लेडिल में रखे मल का ताप शोधित धातु के द्रवणांक से कई सौ डिगरी कम रहता है। जैसे ही धातु मल के सम्पर्क में आती है, कम ताप के कारण उसका संपिण्डन होने लगता है और विलयित गैसें निकलकर धातु को लेडिल में बिखरा देती हैं। इस प्रकार धातु और मल का मिश्रण हो जाता है। अधिक आपेक्षिक गुरुत्व होने के कारण धातु लेडिल के तले में बैठ जाती है और ऊपर का अधिक मल उड़ेल दिया जाता है। लोह के मल-मिश्रित कंदुकों को विद्युतीय पीड में कार्यित कर आकारित किया जाता है। इस क्रिया में मल की काफी मात्रा भी निष्पीडित होकर निकल जाती है।

अध्याय ७

इस्पात उत्पादन की प्रारंभिक विधियाँ

'पिटवाँ लोह' मृदु और तन्य होने के कारण शस्त्र और औजार बनाने के लिए पूर्णतः सफल नहीं हो सका। बीड़ अशुद्धियों के कारण भंगुर रहता है। तेरहवीं शती से इस्पात के उपयोग का वर्णन मिलता है, यद्यपि इसके प्रत्यक्ष प्रमाण हैं कि इससे बहुत पहले भारत श्रेष्ठ प्रकार के वुत्स इस्पात[1] का उत्पादक था। यह सीमेन्टन और घरिया विधियों के योग से बनाया जाता था तथा ईरान और ग्रीस की प्रसिद्ध तलवारें और छुरे बनाने में इसका उपयोग होता था। ये तलवारें इतनी तेज होती थीं कि हवा में उड़ते रेशम के टुकड़े को उनके वार से काटा जा सकता था। संभवतः यह इस्पात दो हजार वर्ष पूर्व हैदराबाद (दक्षिण) में बनता था। मध्ययुग में इन विधियों का लोप हो गया। पिटवाँ लोह और बीड़ की तुलना में इस्पात के श्रेष्ठ गुण प्राचीन काल में ही विदित हो गये थे।

इन लुप्त विधियों में 'सीमेन्टन विधि' का प्रचलन सोलहवीं शती में बेल्जियम में हुआ और इंग्लैण्ड के बेन्जामिन हन्ट्समैन ने सन् १७४२ में घरिया पद्धति निकाली। ऐसा जान पड़ता है कि दूसरी बार ये दोनों विधियाँ स्वतंत्र रूप से स्थापित की गयीं। इस प्रकार सन् १८५६ के पूर्व इस्पात उत्पादन के लिए उपर्युक्त दोनों विधियाँ व्यवहृत होती थीं। सन् १८५६ में हेनरी बैसेमर ने इस्पात उत्पादन की क्रान्तिकारी विधि का आविष्कार

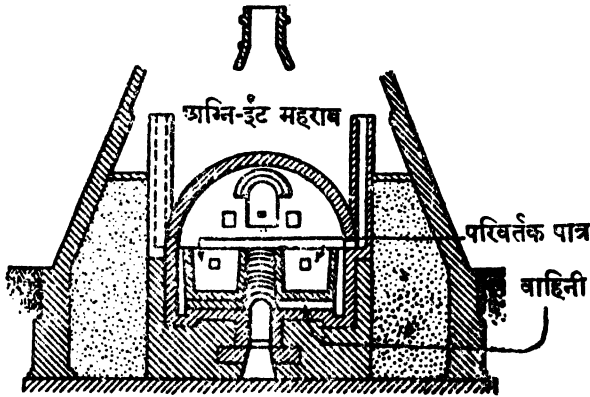
१. Wootz steel

किया और आधुनिक औद्योगिक युग की नींव डाली। इसका वर्णन हम आगे करेंगे।

सीमेन्टन विधि

इस विधि का विकास अठारहवीं और उन्नीसवीं शतियों में हो चुका था और उसका काफी प्रचार था। उन दिनों इंग्लैण्ड इस्पात का प्रधान उत्पादक था। आधुनिक समय में इस विधि से इस्पात का उत्पादन लगभग बंद हो गया है। पिटवाँ लोह की छड़ें यदि कोयले के साथ रखकर लगभग १०००° सें० पर बहुत समय तक गरम की जायँ तो कार्बन क्रमशः धातु में प्रविष्ट हो जाता है। धातु की सतह में प्रविष्ट कार्बन भीतर विसरित होता है। इस प्रकार ताप और अवधि को घटा-बढ़ाकर कार्बन की विभिन्न मात्रा प्राप्त की जा सकती है और छड़ की सतह पर कार्बन लगभग २% तक बढ़ाया जा सकता है। आज भी इस सिद्धान्त का उपयोग इस्पात के अनेक अवयवों को "केस हार्डनिंग" कर कठोर बनाने में किया जाता है।

विधि—पिटवाँ लोह की २॥–३ इंच चौड़ी, ५/८ से ३/४ इंच मोटी और ६ से १२ फुट लम्बी पट्टियाँ सीमेन्टन पात्र में जले कोयले के पाव इंच टुकड़ों के साथ रखी जाती हैं। पात्रों में सबसे नीचे जले कोयले की २-३ इंच मोटी तह, फिर लोह की पट्टियाँ, फिर जला कोयला, इस प्रकार का क्रम रखा जाता है। एक तह में लोह की पट्टियाँ एक-दूसरे से आध इंच दूर रखी जाती हैं और उनके बीच में कोयला रहता है। इस प्रकार प्रत्येक धातु की पट्टी सभी तरफ से कोयले से ढँकी रहती है। प्रत्येक सीमेन्टन पात्र में, जो पत्थर का बना रहता है, लगभग ३० टन लोह समाता है। पात्रों को भरकर हवा का प्रवेश रोकने के लिए रेत और अग्निरोधक मिट्टी से बंद कर दिया जाता है। दो सीमेन्टन पात्रों के बीच में एक अग्निस्थान रहता है। यह एक सीमेन्टन फर्नेस हुई (चित्र २२)। इस प्रकार एक भट्ठी से एक बार में लगभग ६० टन इस्पात तैयार होता है।

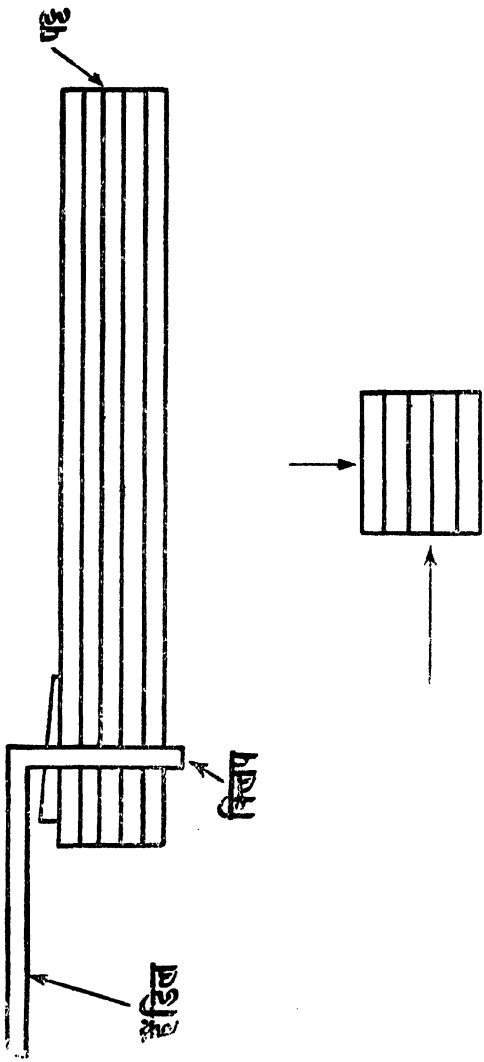
पात्रों को संमुद्रित कर अग्नि जलायी जाती है और लगभग ३-४ दिन में क्रमशः लाल गरम ताप (९००-११००° सें०) प्राप्त किया जाता है

चित्र २२—सीमेण्टन फरनेस

और पट्टियों की परिमा, अभीष्ट कार्बन की मात्रा और प्राप्त ताप को ध्यान में रखते हुए, यह तापमान ७ से १२ दिन तक रखा जाता है। समय-समय पर पात्रों में विशेष रूप से रखी गयी छोटी निरीक्षक पट्टियों को तोड़कर कार्बन के प्रवेश की गहराई का अनुमान किया जाता है। तब पात्रों को धीरे-धीरे ४-६ दिन तक ठंडा होने दिया जाता है और फिर इस्पातकी पट्टियों को बाहर निकाला जाता है। इस प्रकार पूरी क्रिया में लगभग तीन सप्ताह लगते हैं। एक फर्नेस में प्रति वर्ष ६० टन के १५ घान (प्रभार) इस्पात में परिवर्तित किये जाते हैं, अर्थात् लगभग ९०० टन इस्पात का उत्पादन होता है। एक पात्र २०-३० बार तक काम देता है।

इस इस्पात को 'सीमेण्ट इस्पात' कहते हैं। आरंभ में पिटवाँ लोह की पट्टियाँ चिकनी होती हैं। कार्बन और पिटवाँ लोह के मल में विद्यमान आक्सीजन की प्रक्रिया के कारण इनकी सतह पर छाले पड़ जाते हैं। अतः इसे 'छाले युक्त' इस्पात भी कहते हैं। कार्बन की मात्रा पट्टी की सतह से

मध्य तक क्रमशः कम होती जाती है। इस प्रकार के सीमेण्ट इस्पात की रासायनिक बनावट असम होती है। कार्बन के प्रवेश के कारण ये पट्टियाँ भंगुर हो जाती हैं। यदि फर्नेस को ठंडा करते समय पात्रों में हवा प्रवेश कर जाय तो पट्टियों की सतह से स्थान-स्थान पर कार्बन आक्सीकृत होकर निकल जाता है। यह वांछनीय नहीं होता। इस्पात की श्रेष्ठता के लिए यह आवश्यक है कि पिटवाँ लोह घटिया किस्म का न हो, कारण कि उसकी असमता और अशुद्धियाँ इस्पात में भी विद्यमान रहेंगी।

सीमेण्ट इस्पात की असमता दूर करने के लिए पट्टियों के १८-२० इंच लम्बाई के टुकड़े बना लिये जाते हैं। इन्हें लाल गरम कर पीटा जाता है जिससे सतह पर के छाले समतल हो जाते हैं और उनकी चर्मलता[१] बढ़ जाती है। ऐसे ५-७ टुकड़ों को संधर (क्लिप) में बाँधकर (चित्र २३ क) श्वेत ताप यानी १२००-१३००° से० पर पीटा जाता है। आक्सीकरण रोकने के लिए फ्लक्स का आवरण रखा जाता है। इस ताप पर इस्पात के टुकड़े 'दबाव संधानित'[२] हो जाते हैं। इस तरह ब्लूम प्राप्त होता है। इसे 'एक भाजित इस्पात' कहते हैं। सीमेण्ट इस्पात की तुलना में यह अधिक सम होता है। संधान रेखा (चित्र २३ ख) को इंगित करने के लिए ब्लूम को पीटकर वर्गाकार नहीं बनाया जाता, क्योंकि ये अशक्ति की रेखाएँ होती हैं। एक-भाजित[३] इस्पात के टुकड़े काटकर विभिन्न वस्तुएँ बनायी जाती हैं और अधिक रासायनिक समता के लिए 'एक भाजित' ब्लूम को बीच में तोड़-कर दो टुकड़े किये जाते हैं और इन्हें एक के ऊपर दूसरा रखकर गरम करके पीटा जाता है, जिससे ब्लूम का पुराना आकार प्राप्त हो जाय। इस प्रकार क्रिया होने पर 'द्विभाजित इस्पात' बनता है। इसकी अर्हता और बनावट अधिक अच्छी और सम होती है। अच्छे किस्म की कटलरी (कर्तरी अथवा कर्तनोपकरण) बनाने में इसका उपयोग किया जाता था।

१. Toughness २. Welded ३. Single sheer

चित्र २३ क—लोह टुकड़ों को संधर (क्लिप) में बाँधने का ढंग, चित्र २३ ख—ब्रेल्डन (संधान) रेखा का दिग्दर्शन

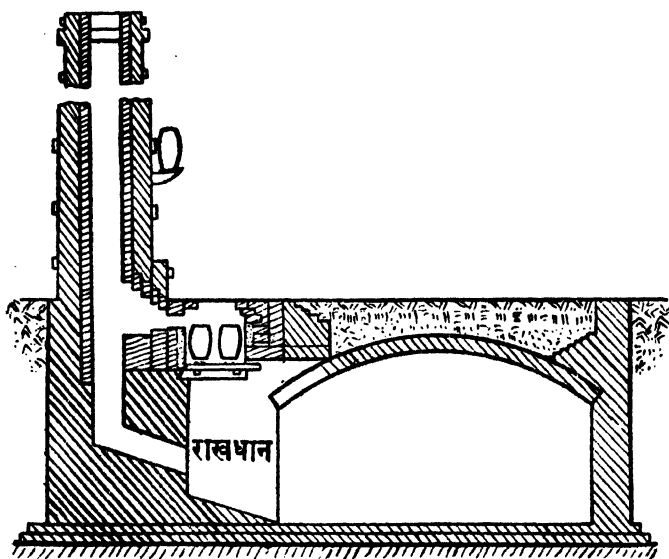
घरिया विधि

सीमेण्ट इस्पात की रासायनिक असमता द्विभाजन के बाद भी पूर्णतः अलग नहीं होती और संधान चिह्नों के कारण सभी दिशाओं में उसकी शक्ति एक-सी नहीं रहती। अंग्रेजी घड़ीसाज बेन्जामिन हन्ट्समेन को घड़ियों के स्कन्द[1] बनाने में इस कारण विशेष कठिनाई होती थी। सीमेण्ट इस्पात की यह कमी दूर करने के लिए हन्ट्समेन ने उसके टुकड़ों को उच्च ताप पर घरिया में गलाने की बात सोची। इस्पात में अभीष्ट कार्बन की मात्रा पाने के लिए उसने उपयुक्त कार्बन वाले सीमेण्ट इस्पात के टुकड़ों का चुनाव किया और फिर घरियों में रखकर कोक ज्वलित भट्ठी में उच्च ताप पर गरम किया। जब चार्ज पूर्णतः गल गया तब सतह पर का मल काछ कर उसने गलित इस्पात को बीड़ के मोल्ड में ढाल दिया। इस प्रकार प्राप्त इस्पात रासायनिक दृष्टि से सम और पिटवाँ लोह में उपस्थित मल और गंदगी से पूर्णतः रहित था। द्रवण में कम आपेक्षिक गुरुत्व होने के कारण ये अशुद्धियाँ सतह पर आ जाती हैं।

सीमेण्ट इस्पात की तुलना में घरिया इस्पात के गुण इतने श्रेष्ठ थे कि शीघ्र ही यह विधि इस्पात उत्पादन के लिए अत्यन्त लोकप्रिय हो गयी और लगभग दो शतियों तक अत्युत्तम इस्पात के उत्पादन में इसको प्रमुखता रही। आज भी कुछ बढ़िया किस्म के टूल इस्पातों का उत्पादन घरिया पद्धति द्वारा किया जाता है, यद्यपि विद्युतीय विधियों के प्रादुर्भाव के कारण अब इन इस्पातों का उत्पादन विद्युत्-विधियों से होने लगा है। इनके विषय में हम आगे विचार करेंगे।

समय के साथ घरिया विधि में अनेक परिवर्तन किये गये। कोक ज्वलित फर्नेस के स्थान में गैस ज्वलित फर्नेस का उपयोग होने लगा है और पुनर्जनन सिद्धान्त का उपयोग कर अत्यन्त उच्च ताप पाना संभव हो गया है। घरियों

१. Spring (कमानी)

के उत्पादन में भी विशेष प्रगति हुई है। पहले फायर क्ले और कोक के मिश्रण से घरियां बनायी जाती थीं। अब ग्रेफाइट घरियों का प्रयोग होने लगा है। ये १३ से १४ इंच ऊँची और ८ से १२½ इंच व्यास की होती हैं। इनका पेंदा लगभग १½ इंच और ऊपरी भाग ⅜ इंच मोटाई का होता है तथा इनमें ८० से १२४ पौंड तक इस्पात रखा जाता है। घरियों के उत्पादन में विशेष सावधानी रखी जाती है जिससे सेवाकाल में उनमें दरारें इत्यादि न होने पायें। सामान्य रूप में इन्हें बारह बार उपयोग में लाया जा सकता है।

चित्र २४—घरिया फर्नेस

चित्र २४ में एक घरिया फर्नेस का खंड दिखाया गया है। एक फर्नेस में पाँच चार्ज स्थान होते हैं और प्रत्येक में छः घरियाँ रखी जाती हैं। इस प्रकार प्रति फर्नेस ३० घरियाँ होती हैं और एक सप्ताह में इनमें तीन बार

इस्पात गलाया जाता है। शेष समय फर्नेस और अन्य संबंधित प्रसाधनों की मरम्मत और सुधार में लगता है। रासायनिक दृष्टि से इस विधि में हानिकारक अशुद्धियों का परिष्करण नहीं होता, अतः यह आवश्यक है कि चार्ज का चुनाव बहुत सावधानी के साथ किया जाय। उसमें गन्धक और फास्फोरस की मात्रा पर समुचित नियन्त्रण रखना आवश्यक है, क्योंकि धातु से इनका निष्कासन नहीं होता। पहले चार्ज में केवल सीमेण्ट इस्पात के टुकड़े डाले जाते थे। इसके बाद स्वीडन में बना अच्छा पिटवाँ लोह और जला कोयला व्यवहृत होने लगा। सन् १८०१ में मशेट ने इस्पात में मैंगनीज के सुप्रभावों पर प्रकाश डाला। तब से पहले मैंगनीज ओर (अयस्क) और फिर लोह मैंगनीज के रूप में सदैव मैंगनीज चार्ज में शामिल किया जाता है।

फर्नेस में घरिया रखने के पहले प्रभार स्थान के नितल[1] को साफ कर लिया जाता है। इस काम के लिए फर्नेस के नितल में ६ इंच व्यास का छिद्र रहता है। सफाई करके यह बंद कर दिया जाता है और फर्नेस नितल पर छोटे कोक की ८ इंच की परत बिछा दी जाती है। यह परत घरिया रखने के समय मसनद का काम करती है, घरियों में एक-सा ताप बनाये रखने में सहायक होती है तथा अपचायक वातावरण रखकर अधिक आक्सीजन से घरियों का बचाव करती है।

फर्नेस में घरिया रखने के बाद गलने में २½ से ४ घंटे लगते हैं। यह प्रभार और फर्नेस की दशा पर निर्भर रहता है। कम कार्बन इस्पात में अधिक समय, अधिक कार्बन इस्पात में कम समय और द्रुत गति इस्पातों के गलने में सर्वाधिक समय लगता है। प्रभार गलने के बाद गैस के निष्कासन के कारण सतह पर खदबद होती रहती है जो लगभग ३०-४० मिनट बाद बंद हो जाती है और सतह शान्त दिखाई पड़ने लगती है।

१. Bottom

इस अवस्था की प्राप्ति उत्तम इन्गटों[१] (पिंडकों) के उत्पादन के लिए आवश्यक है।

विधि का रसायन

गलित होते समय चार्ज में विद्यमान मोरचा और स्केल के रूप में लोह आक्साइड तथा अल्प मात्रा में उपस्थित वायु की आक्सीजन के कारण सतह पर आक्सीकारक और क्षारीय मल बनता है। घरिया की सिलिका और कार्बन से प्रक्रिया होकर यह धीरे-धीरे अपचायक हो जाता है। इस समय सतह पर खदबद होती रहती है। मल-रेखा के पास घरिया संक्षत होकर कट जाती है, जिससे प्रत्येक बार गलाने के बाद घरिया थोड़ी छोटी हो जाती है। अधिक ताप पर कार्बन और सिलिका के लघ्वन से प्राप्त सिलिकन इस्पात में प्रवेश कर जाते हैं। इस प्रकार धातु में विद्यमान सभी आक्साइड निकल जाता है। अब सतह बिलकुल शान्त हो जाती है। इसे इस्पात की 'मृत अवस्था' कहते हैं। यदि अब अधिक देर तक घरिया को फर्नेस में रहने दिया जाय तो कार्बन और सिलिकन के अत्यधिक विलयन के कारण धातु भंगुर हो जाती है। यह प्रवृत्ति नयी घरियों में अधिक रहती है। ठीक समय पर घरियों को फर्नेस से निकालना इस्पात की अर्हता[२] के लिए महत्त्वपूर्ण है।

ढलाई

फर्नेस से घरिया निकालकर सतह पर का अधिकांश मल काछकर अलग कर दिया जाता है और इस्पात को बीड़ के मोल्ड में डाला जाता है। घरिया को फर्नेस में रखना, निकालना और उससे ढलाई करना बहुत परिश्रम के काम हैं। घरिया का भार लगभग ४० पौंड, चार्ज १०० पौंड, ढक्कन ५ पौंड और घरिया पकड़ने की कैंची २० पौंड; इस प्रकार कुल भार १६५ पौंड (दो मन से अधिक) होता है। मोल्ड नीचे से बंद और दो अर्धो

१. Ingot (सिल) २. Quality

में बना रहता है जिन्हें संधर (क्लिप) और मेखों के द्वारा बंद रखा जाता है। इसमें धातु डालते समय ध्यान रखा जाता है कि धातु-प्रवाह मोल्ड की दीवार पर न गिरे। इस्पात के ठोस होने पर मोल्ड के दोनों अर्ध खोल दिये जाते हैं और गरम इन्गट (पिंडक) को धीरे-धीरे ठंडा करने के लिए राख अथवा कोकचूर्ण में तोप दिया जाता है। ताप घट जाने से पिंडक में दरार न होने पायें इस दृष्टि से यह आवश्यक है। अधिकांश पिंडक २½ इंच वर्गाकार होते हैं और इन्हें पुनः गरम कर बेलित अथवा तापकुट्टित किया जाता है। इस प्रकार बना घरिया-इस्पात बहुत श्रेष्ठ होता है। विद्युत प्रेरण फर्नेस के पहले सभी किस्म के श्रेष्ठ औज़ार इस्पात घरिया-विधि से ही बनाये जाते थे। एक प्रकार से विचार करने पर विदित होगा कि घरिया-विधि और प्रेरक-विधि में बहुत समानता है। इसमें ताप-उत्पादन के लिए अन्य ईंधनों के स्थान में विद्युतीय प्रेरण का उपयोग किया जाता है।

घरिया-विधि से इस्पात का उत्पादन अत्यधिक मेहनत और कष्टदायक कार्य है। भार के साथ उच्च ताप पर काम करना बहुत कठिन होता है। सन् १९२७ में पहली बार प्रेरक फर्नेस का व्यावहारिक उपयोग किया गया और तब से घरिया विधि का प्रचार क्रमशः कम होता जा रहा है। इसके पहले अच्छे 'मेल' और 'टूल' इस्पात बनाने के लिए यह विधि बेजोड़ थी। बैसेमर और विवृत तन्दूर-विधियों द्वारा सामान्य इस्पातों का पुंजोत्पादन किया जाता था, परन्तु विशेष इस्पातों के लिए घरिया पद्धति का ही उपयोग होता था।

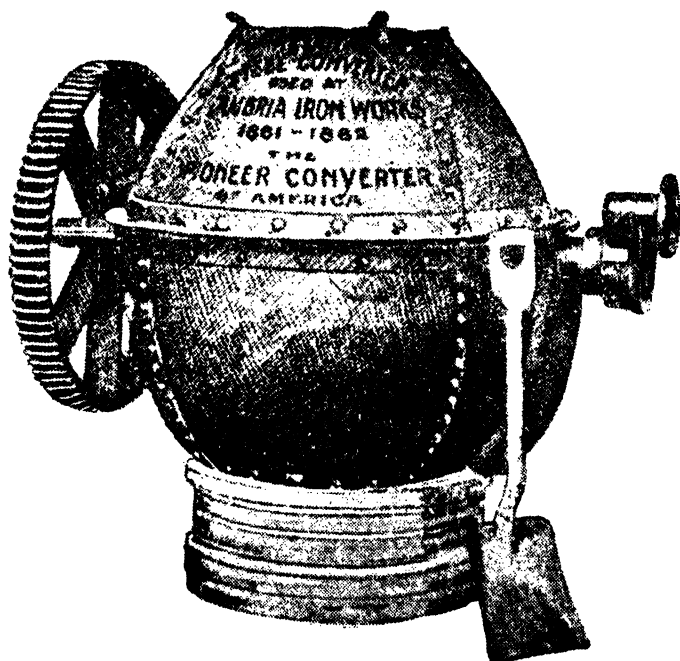
अध्याय ८

इस्पात उत्पादन की आधुनिक विधियाँ

उन्नीसवीं शती के पूर्वार्ध में अधिकांश इस्पात का उत्पादन घरिया-पद्धति से होता था। प्रत्येक बार कठिन परिश्रम द्वारा कुछ पौण्ड इस्पात बनता था, जिसके फलस्वरूप उसका मूल्य अधिक रहता था। अतः अधिकांश लौहिक उत्पादन का उपयोग बीड़ और पिटवाँ लोह के रूप में ही होता था। हेनरी बैसेमर ने अगस्त १८५६ में इस्पात उत्पादन की क्रान्तिकारी विधि की घोषणा की, जिससे आगे आनेवाले वर्षों में इस्पात का पुंजोत्पादन संभव हो सका। बैसेमर का यह आविष्कार उन्नीसवीं शती की सर्वाधिक महत्त्वपूर्ण घटना है। इस विधि की सफलता के बाद लोह के स्थान में अधिकाधिक इस्पात उपलब्ध होने और उपयोग में आने लगा। यहीं से औद्योगिक क्रान्ति का प्रारम्भ होता है। अनेक प्रकार के यन्त्रों, आवागमन के साधनों और कल-कारखानों की सफलता और विस्तार, सस्ता बैसेमर इस्पात सुलभ होने के कारण संभव हो सका।

हम पहले चर्चा कर चुके हैं कि पिग लोह में कार्बन, सिलिकन, मैंगनीज फास्फोरस और गन्धक अशुद्धियों की उपस्थिति के कारण भंगुरता रहती है। अतः अधिकांश इंजीनियरी उपयोगों के लिए पिग लोह या बीड़ अनुपयुक्त है। बैसेमर ने गलित पिग लोह में वायु धमन कर देखा कि तापमान कम होने के स्थान में बढ़ जाता है। लोह में विलयित सिलिकन, मैंगनीज और कार्बन के आक्सीकरण से बहुत ताप का उद्भव होता है। इस प्रकार अशुद्धियों के विलगन[१] के साथ-साथ इस्पात का तापमान भी बढ़ जाता है

१. Separation

और १२ से १५ मिनट की धमन-अवधि में यह रासायनिक प्रक्रिया पूर्ण हो जाती है। चित्र २५ में सबसे पहले उपयोग में आनेवाला बैसेमर परिवर्त्तक दिखाया गया है। घरिया में गलित लोह के बीच एक अग्निरोधक

चित्र २५—आरम्भिक बैसेमर परिवर्तक

नली से वायु धमित की गयी थी। आधुनिक बैसेमर परिवर्त्तक में अनेक यान्त्रिक सुधार किये गये हैं।

बैसेमर विधि के सिद्धान्त का पता लगाने के विषय में अमेरिकन विलियम कैली का नाम भी लिया जाता है। उसका कथन है कि उसने वायु धमित कर इस्पात-उत्पादन के सिद्धान्त का पता सन् १८४७ में ही लगा

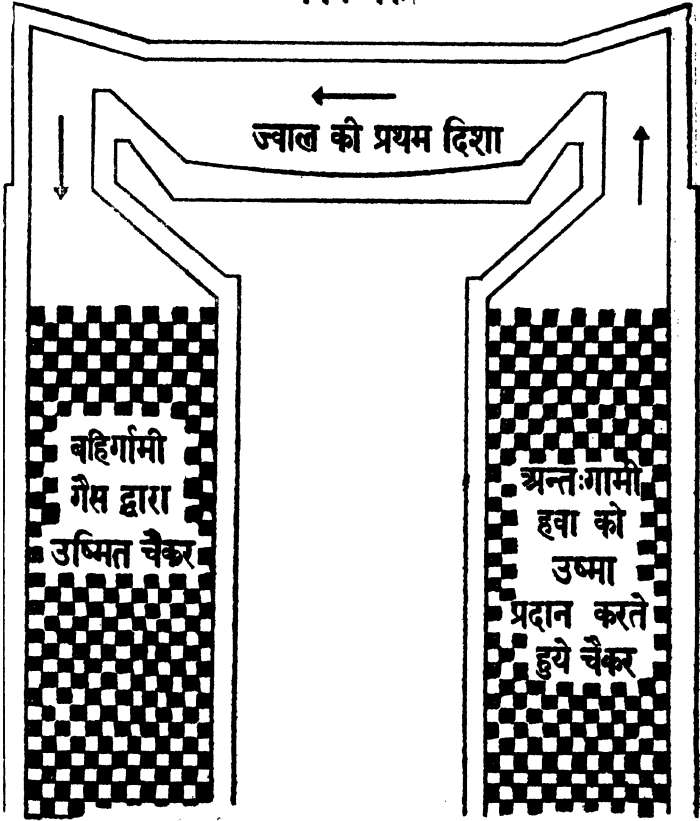
लिया था। इन दोनों आविष्कारकों के बीच अनेक वर्षों तक मुकदमेबाजी चलती रही। जो भी हो, परन्तु यह निस्संदेह है कि विधि को सफल बनाने के अनवरत प्रयत्न और गवेषणा का श्रेय हेनरी बैसेमर को ही मिलना चाहिए। किसी भी महान् वैज्ञानिक आविष्कार को पूर्णतः सफल बनाने में अनेक मस्तिष्कों का योगदान रहता है। बैसेमर विधि के विषय में भी यही बात लागू होती है। प्रारंभ में बैसेमर ने स्वीडन के पिग लोह को (जिसमें मैंगनीज अधिक और फास्फोरस कम था) इस्पात में परिवर्तित किया था। अंग्रेजी पिग लोह (मैंगनीज कम और अधिक फास्फोरस) को इस्पात में परिवर्तित करने से भंगुर धातु प्राप्त हुई। राबर्ट मशेट ने यह सिद्ध किया कि मैंगनीज डालकर यह भंगुरता दूर की जा सकती है। फास्फोरस की मात्रा को नियन्त्रित रखने के महत्त्व पर भी प्रकाश पड़ा। इस प्रकार अम्लीय बैसेमर विधि का प्रारम्भ हुआ। इन परिवर्त्तकों का पूरा अस्तर अम्लीय अग्निरोधकों का बना रहता है।

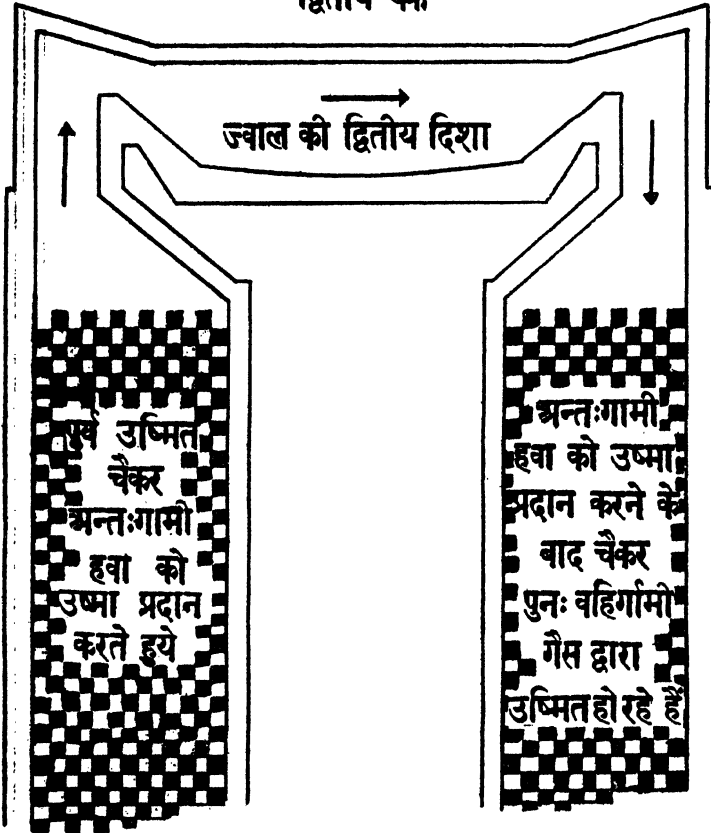
क्षारीय बैसेमर विधि

यूरोप के अन्य देशों में उत्पादित पिग लोहों में फास्फोरस की मात्रा अधिक होने के कारण उन्हें अम्लीय बैसेमर विधि से अच्छे इस्पात में परिवर्तित नहीं किया जा सकता था। फास्फोरस शीतल अवस्था में इस्पात को भंगुर बनाता है। सन् १८७८ में एक दूसरे अंग्रेज टामस गिलक्रिस्ट ने परिवर्त्तक में क्षारीय अस्तर लगाकर चून पत्थर के साथ प्रक्रिया द्वारा अतिरिक्त फास्फोरस को अलग करने की विधि निकाली। उस समय से क्षारीय बैसेमर विधि या टामस विधि का यूरोप में खूब प्रचार हुआ। आज भी बेलजियम, फ्रांस और जर्मनी के कुल इस्पात-उत्पादन का क्रमशः ८५, ६० और ४५ प्रतिशत भाग टामस विधि से प्राप्त होता है।

विवृत तंदूर विधि

बैसेमर विधि की आश्चर्यजनक सफलता के बाद भी सारे उद्योगों की

इस्पात की आवश्यकता पूरी नहीं हो सकी। इस्पात की इस निरंतर बढ़ती माँग को तुष्ट करने के लिए अन्य वैज्ञानिक प्रयत्नशील रहे। इनमें से एक अंग्रेज वैज्ञानिक विलियम सीमेन्स ने उच्च ताप प्राप्त करने के लिए पुनर्जनन

चित्र २६ क —हवा को उष्मित करने में चेकर का प्रकार्य

सिद्धान्त का आविष्कार किया। सन् १८६१ में सीमेन्स ने काँच गलाने के लिए इस सिद्धान्त का उपयोग कर पहली प्रयोगात्मक फर्नेस का निर्माण किया। चित्र २६ में इस सिद्धान्त को स्पष्ट किया गया है। फर्नेस के दोनों

(चित्र २६ ख)

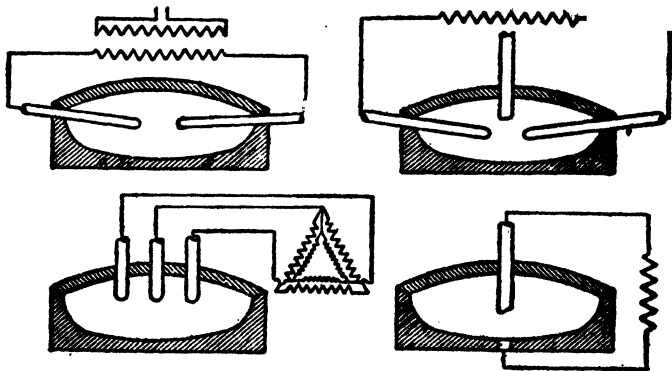
छोरों पर अग्निरोधक ईंटों को आड़ी खड़ी कतारों में लगाकर चैंकर बनाये जाते हैं। इस प्रकार की बनावट से दहन उत्पादों और ईंटों में अधिकाधिक सम्पर्क कराने का प्रयत्न किया जाता है। फर्नेस में दहन के बाद उत्पाद एक ओर कक्ष में होकर चिमनी में जाते हैं। इस प्रकार उनकी संवेद्य ऊष्मा से चैकर की ईंटें तप्त हो जाती हैं। लगभग आध घंटे बाद दिशा बदल दी जाती है। अब दूसरे छोर पर स्थित पुनर्जनक (पुनर्जनित्र) कक्ष की ईंटें तप्त होने लगती हैं और पहले तप्त हुए चैकर ताप देते हैं। यदि केवल वायु को पूर्व तापित करना हो तो प्रत्येक छोर पर एक-एक कक्ष रखा जाता है। वायु और गैसीय ईंधन दोनों को पूर्वतापित करने के लिए प्रत्येक छोर पर दो कक्ष होते हैं। इस प्रकार दहन उत्पादों की संवेद्य ऊष्मा से पूर्वतप्त होकर ताप देने का क्रम लगभग आध घंटे तक चलता रहता है।

पुनर्जनन सिद्धान्त की सफलता के पूर्व तंदूर फर्नेस में इस्पात गलानेवाले उच्च ताप का उद्‌भव संभव नहीं था। पिग लोह की परिशोधन-क्रिया में कार्बन के निष्कासन के साथ-साथ धातु का द्रवणांक ऊपर होता जाता था, जिसके फलस्वरूप मल मिश्रित लोह लेपी दशा में प्राप्त होता था। इसका वर्णन हम 'पिटवाँ लोह' के उत्पादन में कर चुके हैं। पुनर्जनन सिद्धान्त की सफलता से यह संभव हो गया कि उच्च ताप पर मल से मुक्त धातु द्रव दशा में प्राप्त की जा सके। सन् १८६८ में सीमेन्स ने लोह ओर की सहायता से पिग लोह की अशुद्धियों को आक्सीकृत करने की युक्ति सोची। इस प्रकार सीमेन्स की 'पिग एवं ओर विधि' का प्रारंभ हुआ। सीमेन्स की एक प्रारम्भिक कठिनाई यह थी कि पुनर्जनन से उत्पादित अत्यन्त उच्च ताप के कारण फर्नेस की छत गल जाती थी। बाद में जब शुद्ध सिलिका ईंटों की पतली छत बनायी गयी, तब औद्योगिक पैमाने पर इन फर्नेसों में इस्पात बनाना संभव हुआ।

मार्टिन बंधुओं ने गलित पिग लोह को इस्पात क्षेप्य से तनु करके आक्सीकरण के लिए आवश्यक लोह अयस्क की मात्रा बहुत घटा दी। आज जो विवृत तंदूर विधि व्यवहृत होती है, वह सीमेन्स और मार्टिन

बंधुओं के विचारों का वास्तविक लाभदायक मेल है। इसी कारण यह 'सीमेन्स मार्टिन विधि' भी कहलाती है, जिसमें पिग लोह, इस्पात क्षेप्य और लोह अयस्क का उपयोग होता है। प्रारंभिक फर्नेसों का पूर्ण अस्तर अम्लीय होता था। सन् १८८८ में फास्फोरस को कम करने के लिए प्रथम क्षारीय विवृत तंदूर फर्नेस बनायी गयी। इसकी तंदूर और भित्तियाँ मेगनेसाइट की बनी थीं। आज संपूर्ण विश्व का अधिकांश इस्पात-उत्पादन क्षारीय विवृत तंदूर विधि से होता है। इसके कारणों की चर्चा हम अगले अध्यायों में करेंगे।

विद्युत् चाप फर्नेस

सन् १८०० में वैज्ञानिक हम्फ्री डेवी ने कार्बन चाप की खोज कर ली थी, परन्तु फर्नेस में प्रत्यक्ष और अप्रत्यक्ष चाप (चित्र २७) का प्रथम उपयोग

चित्र २७—विद्युच्चाप फर्नेसों का सिद्धान्त

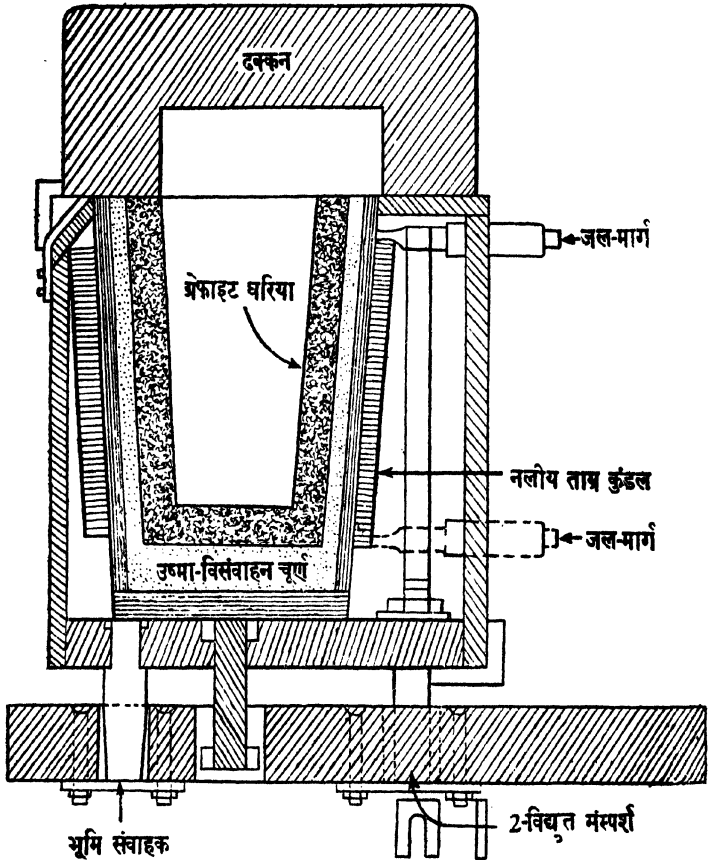
सन् १८७८ में विलियम सीमेन्स ने किया। उन दिनों अधिक मात्रा में विद्युत शक्ति उपलब्ध नहीं थी, उसका मूल्य अधिक था और धारा संचलन के लिए उपयुक्त कार्बन विद्युदग्रों का विकास नहीं हुआ था, इसलिए इस्पात

गलानेवाली विद्युत् फर्नेसों का निर्माण आगे नहीं बढ़ सका। विद्युत फर्नेस द्वारा इस्पात का प्रथम व्यावसायिक सफल उत्पादन सन् १८९९ में हेरोल्ट ने किया। विद्युत शक्ति के विकास और अर्ह इस्पात की बढ़ी हुई माँग ने विद्युत विधि को बहुत प्रोत्साहन दिया है। ईंधन के स्थान में ताप उत्पादन के लिए विद्युत शक्ति का उपयोग करने के अनेक धातुकीय लाभ हैं।

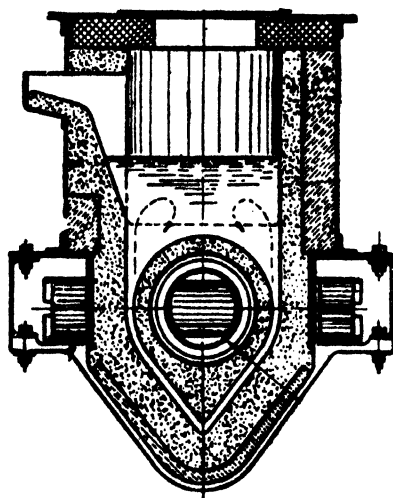
विद्युत् प्रेरक फर्नेस

बैसेमर, विवृत तंदूर और विद्युत् चाप विधियों की सफलता के फलस्वरूप भिन्न-भिन्न प्रकार के इस्पातों के पुंजोत्पादन में आशातीत प्रगति हुई। अच्छी किस्म के टूल इस्पातों के लिए अभी तक घरिया विधि का ही उपयोग होता था और वह श्रेष्ठ मानी जाती थी। इस कष्टसाध्य विधि के स्थान में सरल, सुलभ और श्रेष्ठ विद्युतीय प्रेरक विधि का व्यावहारिक उपयोग सन् १९२७ में शेफील्ड में किया गया। उस समय से निरन्तर विकास के फलस्वरूप टूल इस्पातों, उच्च मेल इस्पातों और अन्य धातुमेलों के उत्पादन में प्रेरक फर्नेस (चित्र २८ क तथा २८ ख) का उपयोग होता है। धातुकीय दृष्टि से इस्पात गलाने के लिए यह आदर्श विधि मानी जा सकती है। इसे विद्युतीय घरिया विधि भी कहा जा सकता है, जिसमें सामान्य घरिया विधि का कष्ट और परेशानी नहीं रहती। शोध और नये धातुमेलों को विकसित करने में प्रेरक फर्नेस का बहुत महत्त्व है।

विचार करने पर ज्ञात होता है कि इस्पात के पुंजोत्पादन की तीनों क्रान्तिकारी विधियाँ; बैसेमर विधि, विवृत तंदूर विधि और विद्युत चाप विधि, उन्नीसवीं शती के उत्तरार्ध में आविष्कृत हो चुकी थीं। तब से ये तीन विधियाँ ही इस्पात के पुंजोत्पादन में व्यवहृत हो रही हैं। प्रारंभ की फर्नेसों और संबंधित यान्त्रिक उपकरणों में अनेक विकास हुए हैं, उनका आकार और उत्पादन बढ़ा है, परन्तु विधियों के मूल सिद्धान्त में कोई परिवर्तन नहीं हुआ। फास्फोरस की मात्रा कम करने के लिए क्षारीय बैसेमर, क्षारीय

विवृत तंदूर और क्षारीय विद्युत् चाप विधियाँ व्यवहार में लायी जाती हैं। इनका अस्तर क्षारीय अग्निरोधकों का बनाया जाता है।

चित्र २८ क—विद्युत-उच्च प्रेरक फर्नेस

एल० डी० विधि

सन् १९५१ में परिवर्त्तक विधि का एक अत्यन्त महत्त्वपूर्ण संपरिवर्त्तन आस्ट्रिया में विकसित किया गया है। इसे एल० डी० विधि कहते हैं। परिवर्त्तक पात्र में गलित लोह को सतह पर शुद्ध आक्सीजन धमित की जाती है। अत्यन्त शीघ्रता से रासायनिक क्रियाएँ पूर्ण होकर उत्तम इस्पात

चित्र २८ ख—विद्युत्-निम्न प्रेरक फर्नेस

की प्राप्ति होती है। इस विधि के अनेक लाभों के कारण विश्व के कई देशों में एल० डी० विधि से इस्पात उत्पादन होने लगा है और इसका अधिकाधिक प्रसार होने की संभावना है। भारत में रूरकेला में एल० डी० विधि से इस्पात उत्पादन होने लगा है। इन सभी आधुनिक विधियों का अगले अध्यायों में विस्तृत वर्णन किया जायगा।

अध्याय ९

वातीय विधियाँ

सामान्य सिद्धांत

इन विधियों में गलित पिग लोह् की अशुद्धियों को आक्सीकृत करने के लिए हवा, आक्सीजन समृद्ध हवा, शुद्ध आक्सीजन और वाष्प अथवा कार्बन डाई आक्साइड इत्यादि के मिश्रण का उपयोग होता है। लोह में विद्यमान सिलिकन, मैंगनीज और कुछ लोह् आक्सीकृत होकर लोह्-मैंगनीज सिलिकेट मल बनाते हैं। तदनन्तर कार्बन, आक्सीकरण से प्राप्त कार्बन मोनाक्साइड और कार्बन डाई आक्साइड गैसों के रूप में निष्कासित होती हैं। इन अशुद्धियों, विशेषत: सिलिकन के आक्सीकरण से बहुत ऊष्मा का उद्भव होता है, जिससे धातु का ताप और तरलता बढ़ जाती है। यह अम्लीय बैसेमर विधि कहलाती है। इसमें वायु-प्रवात परिवर्त्तक के नितल में स्थित क्षिपों[१] में से भेजा जाता है। सन् १८७० से १९१० तक विश्व इस्पात उत्पादन का अधिकांश भाग इसी विधि द्वारा बनाया गया।

इस्पात के उत्पादन के लिए संधानी[२] में अम्लीय अस्तर वाले छोटे परिवर्त्तक व्यवहृत होते हैं। इन्हें बाजू धमित परिवर्त्तक या आविष्कर्त्ता के नाम पर 'ट्रापीनास परिवर्त्तक' कहते हैं। इनमें क्षिप बाजू में स्थित रहते हैं।

१. Tuyers

२. Foundry

क्षारीय बैसेमर परिवर्त्तक[१] या टामस परिवर्त्तक का अस्तर क्षारीय पदार्थों का बनाया जाता है तथा चूने की सहायता से क्षारीय मल बनाकर फास्फोरस को निष्कासित किया जाता है। इस विधि में धमन अवधि के दो उपभाग होते हैं। 'पूर्व धमन' अवधि में सिलिकन, मैंगनीज और कार्बन का आक्सीकरण होता है। इसके पश्चात् 'उत्तर धमन' अवधि में फास्फोरस आक्सीकृत होकर मल में मिलता है। इस विधि में भी प्रवात परिवर्त्तक के नितल में स्थित क्षिपों से भेजा जाता है।

वातीय विधियों में नवीनतम विकास शीर्ष धमित परिवर्त्तकों का हुआ है। परिवर्त्तक के मुँह में नलिका डालकर द्रव की सतह पर शुद्ध आक्सीजन धमित की जाती है। इस सिद्धान्त पर आधारित एल० डी० विधि शीघ्रता से लोकप्रिय हो रही है। विभिन्न वातीय परिवर्त्तकों में आक्सीकारक गैस धमित करने की रीति चित्र २९ में स्पष्ट की गयी है।

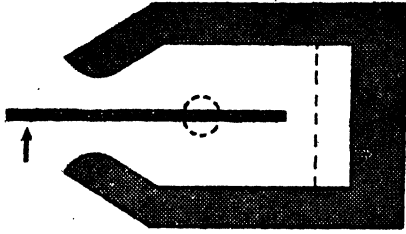
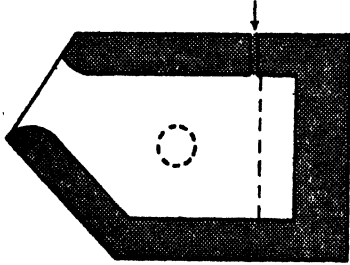
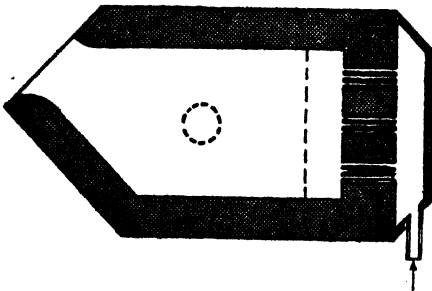
वातीय विधियों के गुण और दोष

(१) सभी वातीय विधियों में पिग लोह को इस्पात में परिवर्तित करने की गति बहुत तीव्र होती है। कुछ ही मिनटों में बिना किसी ईंधन का उपयोग किये अशुद्धियों का निष्कासन होकर पिग लोह, इस्पात में परिवर्तित हो जाता है।

(२) परिवर्त्तक पादप[२] और संबंधित सहायक उपकरणों का संस्थापन व्यय कम होता है।

(३) बैसेमर इस्पातों की यन्त्रण और संधान[३] क्षमता अच्छी होती है।

(४) किसी ईंधन का उपयोग न करने से इस्पात का उत्पादन व्यय कम रहता है। इस प्रकार सस्तेपन, सरलता और शीघ्र उत्पादन के मेल के

१. Converter २. Plant, संयंत्र
३. Welding

चित्र २९—वातीय परिवर्तकों में आक्सीजन धमन की तीन विधियाँ

कारण वातीय विधियाँ बहुत अपेक्षित हैं। परन्तु इनकी कुछ कमियों का भी उल्लेख करना आवश्यक है—

१—इन विधियों में ताप उत्पादन विभिन्न अशुद्धियों के आक्सीकरण से होता है। अतः सफल नियंत्रण और उत्पादन के लिए धातु का रासायनिक समास[1] निश्चित सीमा में रखना आवश्यक है। यह न होने पर प्रक्रिया में अत्यधिक या कम ताप का उद्‌भव होता है।

२—गलित लोह में वायु धमित करने से धातु में नाइट्रोजन विलयित हो जाता है, जो वयः काठिन्य[2] कर इस्पात की तन्यता को कम कर देता है। इस कारण इस्पात की वितान शक्ति, यन्य बिन्दु[3] और दृढ़ता बढ़ जाती है परन्तु इस्पात तन्यता की कमी के कारण गहरे दाबन के अयोग्य हो जाता है। नितल-धमित विधियों में विलयित नाइट्रोजन की मात्रा सर्वाधिक, बाजू-धमित में मध्यम और शीर्ष-धमित परिवर्त्तकों में सबसे कम होती है। क्षारीय विधि में नाइट्रोजन का विलयन सबसे अधिक होता है। शुद्ध आक्सीजन के साथ वाष्प या कार्बन डाई आक्साइड के मिश्रण का उपयोग कर यह कठिनाई दूर करने के प्रयत्न किये जा रहे हैं।

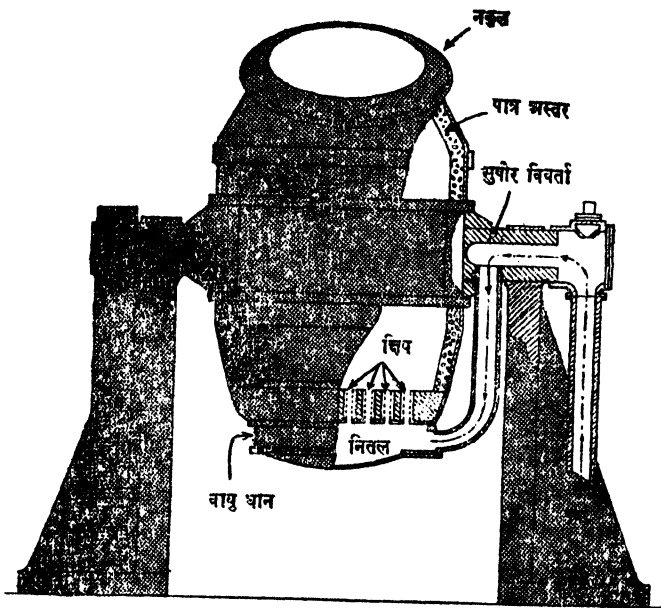
३—उत्पादन की गति द्रुत होने के कारण आक्सीकरण पर पूर्ण नियंत्रण रखना कठिन है। अंतिम इच्छित कार्बन प्राप्त होने का निर्णय करने में भूल होने की संभावना अधिक रहती है। इस कारण वातीय विधियों से ०.३ प्रतिशत या कम कार्बन वाले इस्पात उत्पादित किये जाते हैं। कार्बन की मात्रा इससे अधिक करने के लिए इस्पात में कार्बनीकारक पदार्थ डाले जाते हैं।

४—परिवर्त्तक में प्रत्येक बार लगभग २५ टन इस्पात का उत्पादन

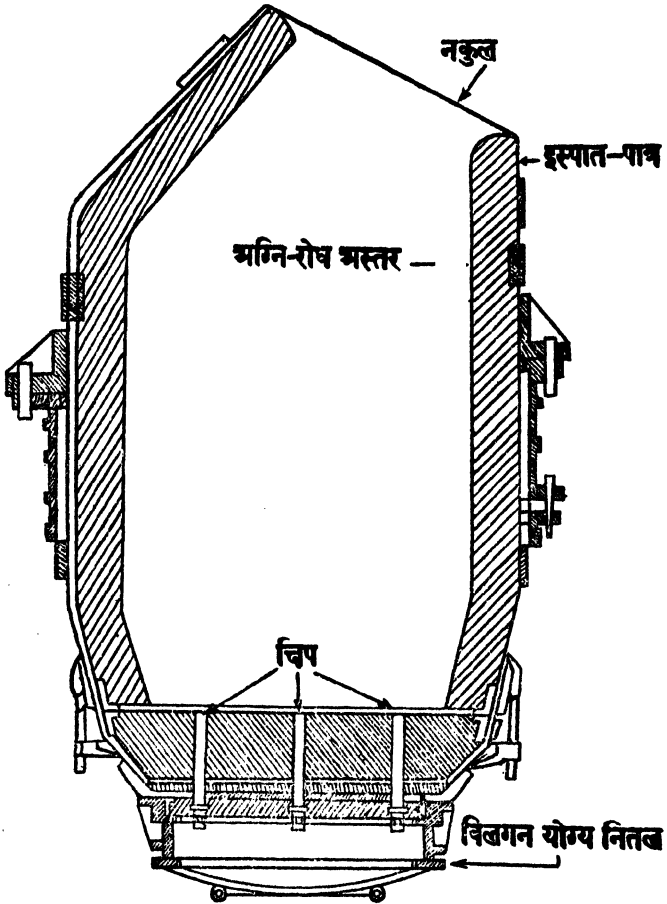
१. Composition
२. Age-hardening
३. Yield point

होता है। इतने छोटे-छोटे घानों[१] में इस्पात का रासायनिक समास[२] एक घान से दूसरे घान में बदल जाता है।

अम्लीय बैसेमर विधि

बैसेमर परिवर्त्तक—परिवर्त्तक की बनावट चित्र ३० में स्पष्ट की गयी है। इसके तीन भाग होते हैं—(१) अलग हो सकनेवाला नितल, (२)

चित्र ३०—बैसेमर परिवर्तक की बनावट

१. Batch २. Composition

मध्यवर्ती रंभाकार भाग और (३) ऊपर का मुँह जो सहकेन्द्रित या

चित्र २१ क—विकेन्द्रित बेसेमर परिवर्तक का खण्ड

विकेन्द्रित होता है। मुँह की बनावट पर से परिवर्त्तक को सहकेन्द्र या विकेन्द्र

परिवर्त्तक कहा जाता है। चित्र ३१ क से स्पष्ट है कि विकेन्द्रित परिवर्त्तक की धातुधारिता अधिक होती है। साथ ही धमन के समय धातु और मल बाहर कम उड़ते हैं तथा बाहर उड़नेवाले मल और धातुकण चारों ओर न फैलकर एक ही ओर गिरते हैं। इन लाभों के अतिरिक्त विकेन्द्रित मुँह से ताप की अपेक्षाकृत कम हानि और परिवर्त्तक को झुकाते समय प्रवात को जल्दी बंद कर देने की सुविधा के कारण विकेन्द्रित परिवर्त्तक अधिक लोकप्रिय हुए हैं।

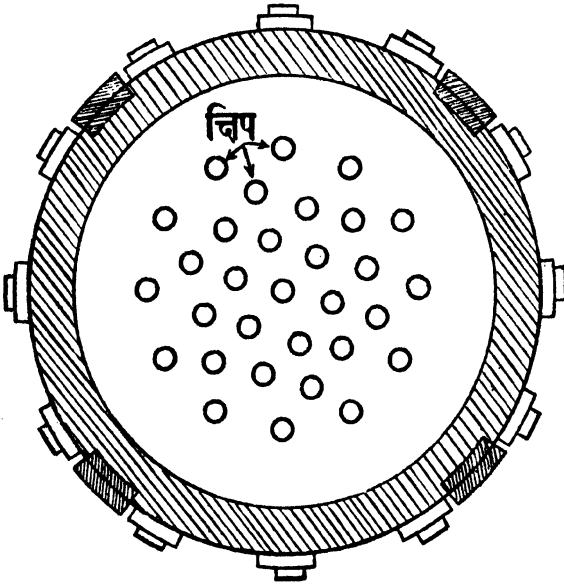
परिवर्त्तक का कर्पर[1] इस्पात का बनता है, जिसमें अंदर उत्तम अम्लीय अग्निरोधकों का अस्तर लगाया जाता है। पूरा परिवर्त्तक पात्र दो ट्रनियनों पर सधा रहता और आगे-पीछे झुकाया जा सकता है। एक ट्रनियन पोला होता है जिसमें से हवा परिवर्त्तक के नितल में स्थित वायुकक्ष में भेजी जाती है। ऐसा प्रबंध रहता है जिससे परिवर्त्तक की किसी भी स्थिति में वायु-प्रवात बिना रुकावट के धमित किया जा सके। अग्निरोधक अस्तर बनाने के लिए उत्तम सिलिका ईंटें व्यवहृत होती हैं। अस्तर की मोटाई १२ से १५ इंच होती है। प्रत्येक धमन के बाद अस्तर का निरीक्षण किया जाता है। एक अस्तर की कार्य-अवधि १००० से २००० धमन होती है।

अलग होनेवाले नितल का उपयोग परिवर्त्तक की **प्ररचना और** बनावट के विकास में एक महत्त्वपूर्ण चरण है। क्षिपों से निकलकर हवा लोह के संपर्क में आती है और उसे आक्सीकृत कर आक्साइड बनाती है। यह नितल में लगे क्षिपों और अग्निरोधकों का संक्षय[2] करती है। इस कारण नितल का जीवन केवल २०-२५ धमन ही होता है। चित्र ३१ 'ख' में संक्षयिक नितल का खंड दिखाया गया है। इस प्रकार परिवर्त्तक के साथ स्थायी रूप से न जुड़े हुए नितल का महत्त्व स्पष्ट है। नितल-घर में अनेक नितल पहले से तैयार रखे जाते हैं और आवश्यकता पड़ने पर २०-२५ मिनट

१. Shell २. Corrosion

में पुराने संक्षयित नितल हटाकर नये नितल लगा दिये जाते हैं। नितल में क्षिपों की स्थिति चित्र में दिखायी गयी है।

वायु-प्रवात

गलित पिग लोह की अशुद्धियों को आक्सीकृत करने के लिए वायु-प्रवात मजबूत धमन इंजनों द्वारा भेजा जाता है। वायु का दबाव इतना

चित्र ३१ ख—परिवर्तक नितल का खण्ड

रखा जाता है कि क्षिप-छिद्रों से गलित धातु वायु-कक्ष में न जा सके। वायु का दबाव लगभग २५ पौंड प्रति वर्ग इंच रखा जाता है। धमन के प्रारंभ में धातु का ताप कम होने के कारण तरलता कम रहती है, जिससे

अधिक दबाव पर प्रवात भेजने की आवश्यकता पड़ती है। बाद में तरलता बढ़ जाने पर प्रवात के प्रवाह में धातु का अवरोध कम हो जाता है; तब दबाव और कम किया जा सकता है। धमन में पिग लोह् के रासायनिक समास पर आधारित वायु की औसत खपत ५ से ८ टन होती है। सम्पूर्ण विधि में १८-२० मिनट लगते हैं। इस हिसाब से २० टन वाले परिवर्त्तक में प्रति मिनट लगभग १६५०० से १८५०० घनफुट वायु की आवश्यकता होती है।

उपयुक्त पिग लोह् का चुनाव

अम्लीय विधि द्वारा इस्पात के उत्पादन में उपयुक्त रासायनिक समास वाले पिग लोह् का चुनाव बहुत महत्त्वपूर्ण है। इस विषय में निम्नलिखित बातों को ध्यान में रखना आवश्यक है।

सिलिकन—इसके आक्सीकरण से सर्वाधिक ताप का उद्भव होता है। अतः यदि सिलिकन की मात्रा १ प्रतिशत से कम हो तो धमन में धातु शीतल हो जायगी। यदि सिलिकन की मात्रा ३ % से अधिक हो तो धमन में धातु उग्र रूप से गरम हो जायगी, जिसके कारण सिलिकन के पहले कार्बन का निष्कासन होकर इस्पात में 'शेष सिलिकन' बच रहेगा और परिवर्त्तक के मुंह से अधिक तरलता के कारण मल बाहर फेंका जायगा। 'शेष सिलिकन' की अधिक मात्रा का इस्पात के गुणों पर हानिकारक प्रभाव पड़ता है।

सिलिकन आक्सीकृत होकर मिश्रित लोह् मैंगनीज सिलिकेट मल बनाता है। अतः स्पष्ट है कि पिग लोह् में सिलिकन की मात्रा अधिक होने पर मल के रूप में अधिक लोहे की हानि होगी। इस कारण पिग लोह् में सिलिकन की मात्रा १.५ से २.५ प्रतिशत रहना अपेक्षित है।

कार्बन—पिग लोह् में कार्बन की मात्रा ३.५ से ४ प्रतिशत तक रहती है। इसकी मात्रा पर प्रवात भट्ठी में नियंत्रण रखना कठिन है। कार्बन की मात्रा अधिक होने पर धमन अवधि बढ़ जाती है और कोई लाभ नहीं होता।

मैंगनीज—विधि में मल का प्रकार और आचरण उसको मैंगनीज आक्साइड की मात्रा पर अवलंबित रहता है। इसी कारण पिग लोह में मैंगनीज की मात्रा का महत्त्व है। साधारणतः सिलिकन प्रतिशत से मैंगनीज की मात्रा लगभग आधी (०.७ से १ %) रखी जाती है। इससे अधिक होने पर धमन अवधि बढ़ जाती है, मल अत्यधिक तरल होकर बाहर उड़ने लगता है और परिवर्त्तक के अग्निरोधक अस्तर का संक्षय बढ़ जाता है।

गंधक और फास्फोरस—अच्छे इस्पात में इनमें से प्रत्येक को मात्रा ०.०५ % से कम होना आवश्यक है। अम्लीय पद्धति में पिग लोह में इन तत्त्वों की विद्यमान कुल मात्रा इस्पात में आ जाती है। विधि में आक्सीकरण, मल और धुएँ इत्यादि के रूप में १२-१५ % धातु की हानि होती है जिसके फलस्वरूप इस्पात में गंधक और फास्फोरस की प्रतिशत मात्रा बढ़ जाती है। इस कारण यह आवश्यक है कि पिग लोह में इन तत्त्वों में से प्रत्येक की मात्रा ०.०४ % से कम हो।

अम्लीय बैसेमर पद्धति से अच्छे इस्पात के उत्पादन के लिए उपयुक्त रासायनिक समास वाले पिगलोह का महत्त्व उपर्युक्त चर्चा से स्पष्ट है। विश्व की अधिकांश प्रवात फर्नेसों में बननेवाले पिग लोहों का रासायनिक समास इन सीमाओं में नहीं रहता। अच्छे लोह ओर और कोक की कमी के कारण विशेषतः फास्फोरस की मात्रा अधिक रहती है। इस कारण द्रुत गति और विधि की सरलता होते हुए भी विश्व इस्पात उत्पादन का अधिकांश भाग इस विधि द्वारा तैयार नहीं होता। अम्लीय बैसेमर और क्षारीय विवृत तंदूर के मेल से बनी द्वैध विधि की चर्चा हम आगे करेंगे। इस्पात के पुंजोत्पादन के लिए यह विधि सफल हुई है।

धातु का धमन

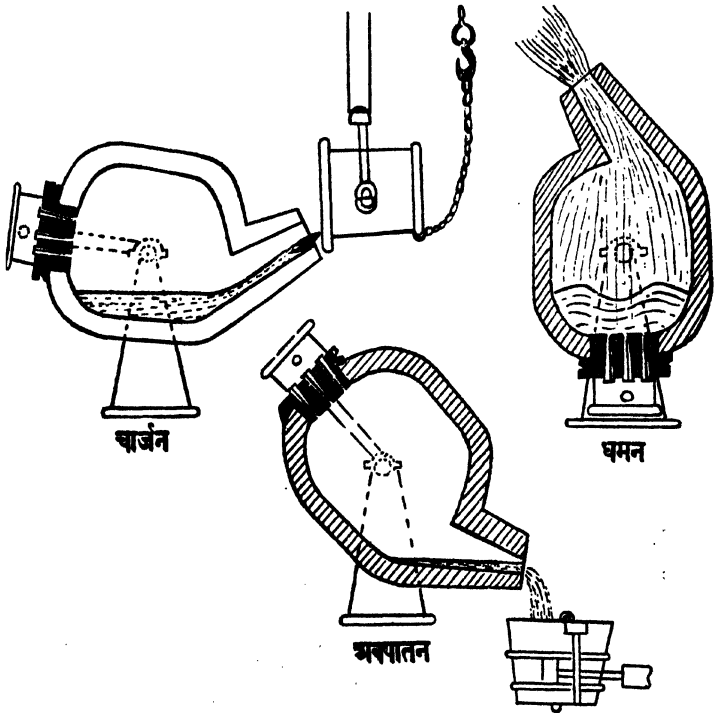
परिवर्त्तकों की धारिता १० से २५ टन होती है। मिश्रक से पिग लोह लाकर परिवर्त्तक पात्र में डाला जाता है। परिवर्त्तक में धातु की गहराई

लगभग २० इंच होती है। प्रवात आरम्भ करने के बाद पात्र को खड़ा कर दिया जाता है। धातु-कुंभ में वायु की यात्रा से कुछ लोह आक्सीकृत हो जाता है। वायु के प्रवाह के कारण यह पूरे कुंभ में वितरित हो जाता है और धातु में उपस्थित सिलिकन और मैंगनीज का आक्सीकरण होने लगता है। यह धमन की प्रथम अवस्था है। लोह और मैंगनीज आक्साइड सिलिकेट मल बनाते हैं। ये सब तापद[1] क्रियाएँ होने के कारण कुंभ का ताप शीघ्रता से बढ़ने लगता है। इसमें अधिकांश ताप सिलिकन के आक्सीकरण से प्राप्त होता है। इस अवस्था में बहुत कम कार्बन आक्सीकृत होता है। धमन की प्रारंभिक स्थिति में पात्र के मुँह से बभ्रु (ब्राउन) धुआँ उठता है और फिर छोटी पारदर्शक लाल रंग की ज्वाला निकलती है। सिलिकन और मैंगनीज का आक्सीकरण होकर मल बनने की इस अवस्था में ४-६ मिनट लगते हैं।

सिलिकन और मैंगनीज के लगभग पूर्ण निष्कासन के बाद शीघ्रता से कार्बन के आक्सीकरण से कार्बन मोनाक्साइड का उत्पादन होने लगता है। पात्र के मुँह से निकलते समय इसके दहन से लम्बी अपारदर्शी और चमकदार ज्वाला निकलती है। यह ज्वाला बढ़कर २५-३० फुट लम्बी हो जाती है और इसके साथ श्वेत तप्त मलकणों के उड़ने से सुहावनी फुलझड़ियां सी निकलती हैं। कार्बन के आक्सीकरण की इस अवस्था को 'क्वथन' कहते हैं। कार्बन के आक्सीकरण में अधिकांश ताप की पात्र के मुंह के बाहर ज्वाला के रूप में हानि हो जाती है। इस कारण कुंभ का तापमान प्रथम सिलिकन आक्सीकरण अवस्था के समान शीघ्रता से नहीं बढ़ता। धमन समाप्त होने पर प्राप्त इस्पात का ताप प्रधानत: पात्र में डालते समय पिग लोह के ताप और उसकी सिलिकन प्रतिशतता पर अवलंबित रहता है।

परिवर्त्तक की धमन अवधि में ज्वाला के रूप तथा गुण और मुँह से

१. Exo-thermic ऊष्माक्षेपक

निकलती चिनगारियों से धातु के ताप और उसमें बची कार्बन की मात्रा का अनुमान लगाया जाता है। यह बहुत कुशलता का कार्य है और अनेक वर्षों के अनुभव के बाद इसमें सिद्धहस्तता प्राप्त हो जाती है। धमन के अंत में ज्वाला शान्त होने लगती है। यदि अधिक देर तक धमन हो जाय

चित्र ३२—बेसेमर परिवर्तक की विभिन्न स्थितियाँ

तो धातु में विलयित लोह् आक्साइड की मात्रा बहुत बढ़ जाने से इस्पात घटिया हो जाता है। इस खराबी के लिए केवल पंद्रह सेकंड का अति·

धमन पर्याप्त होता है। इसके विपरीत यदि धमन समाप्त करने में शीघ्रता की जाय तो कार्बन पूर्णतः निष्कासित नहीं होता और इष्ट वर्ग का इस्पात नहीं बनता। यहाँ धमनकर्त्ता की धातुकीय कुशलता और अनुभव की परख होती है। प्रारंभ से समाप्ति तक धमन में औसतन १५ मिनट लगते हैं। इस अवधि में २०–२५ टन पिग लोह इस्पात में परिवर्तित हो जाता है। चित्र ३२ में परिवर्त्तक की विभिन्न स्थितियाँ दिखायी गयी हैं।

कभी-कभी परिवर्त्तक के धमन में उग्र ताप का उद्‌भव होता है। यह प्रमुखतः पिग लोह में सिलिकन की अधिकता के कारण होता है। इस अवस्था को सुधारने के लिए विधि के प्रारम्भ में इस्पात क्षेप्य को उचित मात्रा पात्र में डाली जाती है, अथवा धमन करते समय वायु के साथ वाष्प-मिश्रित कर दी जाती है। इसकी व्यवस्था और सुविधा पहले से की हुई रहती है। वाष्प का विबन्धन[१] एक तापशोषक क्रिया है, जिसके फलस्वरूप कुंभ का ताप कम हो जाता है। जब धमन में अपर्याप्त ताप का उद्‌भव होता है, तब अतिरिक्त ऊष्मा का उत्पादन करने के लिए परिवर्त्तक को थोड़ा झुका दिया जाता है जिससे कुछ क्षिप धातु की सतह से बाहर निकल आते हैं। इनसे निकलनेवाली वायु से कुछ कार्बन मोनाक्साइड कुंभ के ऊपर जलकर अतिरिक्त ताप उत्पन्न करती है। पिग लोह में सिलिकन की मात्रा कम होने पर लोह सिलिकन डालकर उचित ताप के उद्‌भव की व्यवस्था की जाती है। यह स्मरणीय है कि वाष्प द्वारा ताप कम करना वांछनीय रीति नहीं है। वाष्प के प्रवेश से इस्पात के गुणों पर हानिकारक प्रभाव पड़ता है और ताप-नियंत्रण का संतुलन बिगड़ जाता है। इसी प्रकार पात्र को झुकाकर धमित करने से उत्पादन कम हो जाता है। इस्पात का समाप्ति ताप १५४०° से १६००° से० तक रहना अपेक्षित है। इससे कम

१. Decomposition

होने पर धातु शीतल होकर लेडिल में जमने लगती है। अधिक ताप होने पर इस्पात उग्र और अनियंत्रित हो जाता है और उससे बने इन्गटों (पिंडकों) में दरारें पड़ जाती हैं।

धमन की समाप्ति—जब धमनकर्त्ता यह निर्णय कर लेता है कि कार्बन का आक्सीकरण हो चुका, परिवर्त्तक पात्र को झुकाकर प्रवात बंद कर दिया जाता है। इस समय इस्पात अपनी समापित अवस्था में नहीं रहता। धमन में सावधानी रखने पर भी कुछ आक्सीजन गलित धातु में विलयित रहती है। यदि इसे ऐसे ही रहने दिया जाय तो संपिंडन में धमन छिद्र बन जायँगे, अन्यथा अधातुकीय अशुद्धियों के अंतर्भूत इस्पात को अशुद्ध बना देंगे। विलयित आक्सीजन के अतिरिक्त इस अवस्था में कार्बन की मात्रा बहुत कम रहती है, जिसके फलस्वरूप अधिकांश उपयोगों के लिए इस्पात बहुत मृदु रहता है। विलयित आक्सीजन को कम करने और इस्पात में कार्बन की इष्ट मात्रा लाने के लिए अनाक्सीकारक और पुनःकार्बनक पदार्थ उपयोग में लाये जाते हैं। इन पदार्थों में स्पीजेल, लोह मैंगनीज़, कोक चूर्ण, लोह सिलिकन और एल्यूमिनियम प्रमुख हैं। इनके रासायनिक विश्लेषण की चर्चा चौथे अध्याय में की जा चुकी है। इन लोह मेलों को इस्पात में डालने से मैंगनीज़ और लोह आक्साइड में प्रक्रिया होकर मैंगनीज़ आक्साइड बनता है, जो लोह आक्साइड के विपरीत गलित धातु में अघुलनशील होता है। इस कारण यह सतह पर आकर मल में मिल जाता है। शेष मैंगनीज़ इस्पात में विद्यमान रहता है। सिलिकन आक्साइड भी मल बनाता है। स्पीजेल और लोह मैंगनीज में क्रमशः २ से ४ और ६ से ७ प्रतिशत कार्बन विद्यमान रहता है,जो इस्पात की कार्बन मात्रा अधिक कर उसकी शक्ति और कठोरता बढ़ाता है। यदि धमित धातु में कार्बन की मात्रा बहुत कम हो तब अंतिम इस्पात में अधिक कार्बन प्राप्त करने के लिए कभी-कभी गलित पिग लोह पात्र में इस्पात के साथ मिश्रित करके डाला जाता है। परिवर्त्तक में गलित पिग लोह डालने पर इस्पात और पिग लोह तुरंत मिश्रित हो जाते हैं और विलयित आक्सीजन

तथा कार्बन की प्रक्रिया से कार्बन मोनाक्साइड गैस बनती है। इस प्रकार सिलिकन, एल्यूमिनियम इत्यादि के अनाक्सीकरण से प्राप्त ठोस या द्रव उत्पादों के विपरीत गैस प्राप्त होती है।

गरम पिग लोह द्वारा अनाक्सीकरण करते समय यह ध्यान में रखना आवश्यक है कि पिग लोह की उपयुक्त मात्रा ही डाली जाय, अन्यथा कार्बन प्रतिशतता अधिक बढ़ जायगी। यदि ठोस अनाक्सीकारक और पुनःकार्बनक पदार्थ डालने हों तो उन्हें परिवर्त्तक से लेडिल में धातु त्रोटित करते समय डाला जाता है, जिससे मिश्रण अच्छा हो सके। पात्र से इस्पात त्रोटन क्रिया धीरे-धीरे और सावधानी से की जाती है जिससे पात्र में मल की अधिकतम मात्रा रुकी रहे। इसके पश्चात् लेडिल को अवपातन मंचक पर इन्गट मोल्डों में प्रपूरण करने के लिए ले जाते हैं। परिवर्त्तक पात्र को पूर्णतः उलट दिया जाता है जिससे उसमें बचा मल नीचे खड़ी गाड़ी में गिर जाता है। अब परिवर्त्तक के अग्निरोधक अस्तर का निरीक्षण कर दूसरे धमन की तैयारी की जाती है।

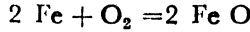
रासायनिक प्रक्रियाएँ

परिवर्त्तक में होनेवाली रासायनिक प्रक्रियाओं को अच्छी तरह समझने के लिए इनका नियंत्रण करनेवाले कुछ नियमों का ज्ञान आवश्यक है। "प्रत्येक प्रक्रिया की गति उसमें भाग लेनेवाले क्रियाशील अवयवों के परिमाण की समानुपाती होती है।" इसे "परिमाण क्रिया" नियम कहते हैं। अतः क्रियाशील अवयवों का परिमाण बढ़ाकर क्रिया की गति को बढ़ाया जा सकता है। दूसरे नियम के अनुसार किसी बाहरी स्रोत से ताप की अनुपस्थिति में वे यौगिक पहले बनते हैं जिनमें ताप का उद्भव क्रमशः सर्वाधिक होता है।

परिवर्त्तक के क्षिपों से प्रवात के कुंभ में प्रविष्ट होते ही वायु की आक्सीजन और गलित लोह मिलकर लोह आक्साइड FeO बनाते हैं। यह लोह आक्साइड प्रवात द्वारा हुए कुंभ के प्रक्षोभ से वितरित होकर अशुद्धियों

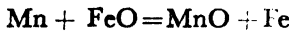
को आक्सीकृत करता है। परिवर्त्तक में होनेवाली विभिन्न क्रियाओं पर क्रम से विचार किया जायगा।

(१) सर्वप्रथम लोह आक्सीकृत होकर FeO बनता है—

$$2\ Fe + O_2 = 2\ FeO$$

यह क्रिया तापद होने के कारण कुंभ की ऊष्मा बढ़ाती है। FeO गलित लोह में विलयित होकर उग्र प्रक्षोभ के कारण कुंभ में सर्वत्र वितरित हो जाता है। नितल के समीप FeO का स्थानीय सान्द्रण अधिक होने के कारण क्षिपों और नितल के अग्निरोधकों का संक्षय होता है।

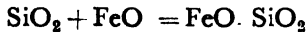
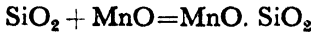
(२) FeO तथा सिलिकन और मैंगनीज़ की प्रक्रिया होकर SiO_2 और MnO बनते हैं।

$$Si + 2\ FeO = SiO_2 + 2\ Fe$$

$$Mn + FeO = MnO + Fe$$

ये दोनों प्रक्रियाएँ तापद हैं और धमन के प्रारंभिक भाग में अधिकांश ताप इन्हीं से प्राप्त होता है।

(३) सिलिकन, मैंगनीज़ और लोह आक्साइडों की प्रक्रिया से मल बनता है—

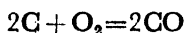
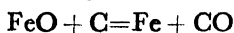
$$SiO_2 + MnO = MnO.\ SiO_2$$

$$SiO_2 + FeO = FeO.\ SiO_2$$

जब तक सिलिकन और मैंगनीज़ आक्सीकृत होते रहते हैं, कुंभ के कार्बन-प्रतिशत में विशेष कमी नहीं होती। यह 'सिलिकन धमन' लगभग ४–५ मिनट चलता है। परिवर्त्तक के मुंह से बाहर जाती गैसों में प्रमुखतः नाइट्रोजन, कुछ कार्बन डाई आक्साइड और अल्प मात्रा में आक्सीजन और हाइड्रोजन रहती हैं। प्रवात में विद्यमान वाष्प के वियवन[1] से हाइड्रोजन प्राप्त होती है।

१. Dissociation

(४) सिलिकन और मैंगनीज़ का आक्सीकरण लगभग पूर्ण होने पर धमन का दूसरा भाग प्रारंभ होता है, जिसे 'कार्बन धमन' कहते हैं। इसमें निम्नलिखित प्रक्रियानुसार शीघ्रता से कार्बन का आक्सीकरण होता है—

$$FeO + C = Fe + CO$$

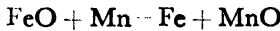
$$2C + O_2 = 2CO$$

इन प्रक्रियाओं से कुंभ में कार्बन की मात्रा शीघ्रता से कम होने लगती है। कार्बन मोनाक्साइड निकलकर पात्र के मुँह के पास जलती है। इससे बहुत ताप का उत्पादन होता है, परन्तु अधिकांश पात्र के बाहर होने के कारण CO के CO_2 में आक्सीकरण से प्राप्त दो गुनी से अधिक ऊष्मा (६८,००० केलरी) की हानि हो जाती है और केवल कार्बन के CO में आक्सीकरण से २९,००० केलरी कुंभ में आती है। इसी कारण पात्र को थोड़ा झुकाकर धमन करने से, परिवर्त्तक के भीतर कुछ CO का दहन होकर कुंभ का ताप बढ़ जाता है।

जब तक कुंभ में कार्बन विद्यमान रहती है, लोह के आक्सीकरण में संतुलन रहता है। चित्र ३३ में कुंभ में विद्यमान कार्बन और लोह आक्साइड की मात्रा का संबंध दिखाया गया है। धमन के इस चरण में कुंभ का ताप अपेक्षाकृत कम बढ़ता है। प्रत्येक आक्सीजन अणु की प्रक्रिया से CO के दो अणु बनते हैं। इस समय की परिवर्तक गैसों में अधिक CO, कम CO_2 और N_2 की मात्रा में उल्लेखनीय कमी रहती है। धमन की इस अवस्था को क्वथन भी कहते हैं। कार्बन प्रतिशत कम होने पर ज्वाला गिर जाती है। इस समय पात्र को झुकाकर प्रवात बंद कर दिया जाता है। यदि सावधानी न रखी जाय तो धातु का अत्यधिक आक्सीकरण होकर इस्पात का सर्वनाश हो जाता है।

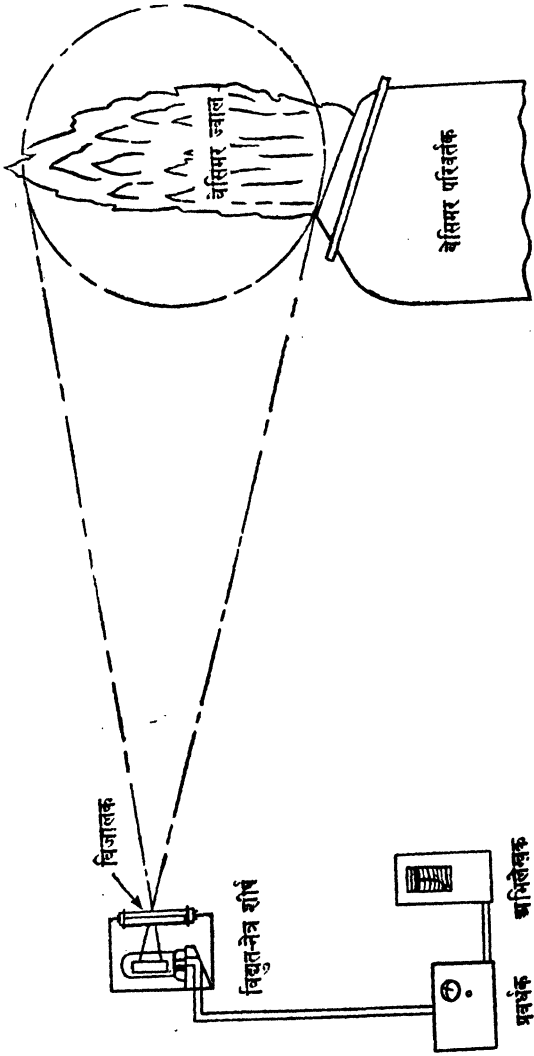
(५) अम्लीय विधि में पिग लोह में विद्यमान गंधक और फास्फोरस का निष्कासन नहीं होता। अन्य अशुद्धियों का आक्सीकरण होने से समापित इस्पात की प्राप्त मात्रा पिग लोह की तुलना में १०–१२ प्रतिशत कम हो जाती है। इस कारण यह आवश्यक है कि इन दोनों हानिकारक

अशुद्धियों की मात्रा पिग लोह में इतनी होनी चाहिए कि जिससे समापित इस्पात में इनकी मात्रा ०.०५ प्रतिशत से अधिक न हो। फास्फोरस को निष्कासित करने के लिए यह आवश्यक है कि मल क्षारीय हो, वातावरण आक्सीकारक हो और सरलता से विसरण होने के लिए मल पर्याप्त रूप से तरल हो। गंधक की मात्रा कम करने के लिए क्षारीय और तरल मल तथा अपचायक वातावरण आवश्यक हैं। मल की प्रकृति अम्लीय होने के कारण इस्पात में इन दोनों तत्वों की मात्रा ज्यों-की-त्यों बनी रहती है।

(६) कार्बन प्रतिशत ०.०५ के लगभग पहुँचने पर ज्वाला गिर जाती है। इस समय बहुत सावधानी रखना आवश्यक है, अन्यथा लोह की अत्यधिक मात्रा आक्सीकृत हो जायगी। सावधानी रखने पर भी कुछ लोह आक्साइड कुंभ में विलयित रहता है। इसकी मात्रा कम करने के लिए अनाक्सीकारक और पुनःकार्बनक पदार्थ लेडिल में डाले जाते हैं। इनमें लोह मैंगनीज़ प्रमुख है। मैंगनीज़ की प्रक्रिया इस प्रकार लिखी जा सकती है—

$$FeO + Mn = Fe + MnO$$

इस प्रकार से बना MnO गलित धातु में घुलनशील न होने से ऊपर आकर मल में मिल जाता है। मैंगनीज़ की तरह सिलिकन भी आक्सीकृत होकर विलयित लोह आक्साइड की मात्रा को कम करता है। इन लोह मेलों में विद्यमान कार्बन से इस्पात की कार्बन-प्रतिशतता बढ़ जाती है। यह विशेष उल्लेखनीय है कि इन प्रक्रियाओं के बाद बने MnO तथा SiO_2 के कणों को ऊपर उठने के लिए पर्याप्त समय दिया जाना चाहिए, नहीं तो वे इस्पात में जहाँ तहाँ फँसे रह जायँगे और इस्पात की अर्हता को खराब करेंगे।

विधि का नियंत्रण

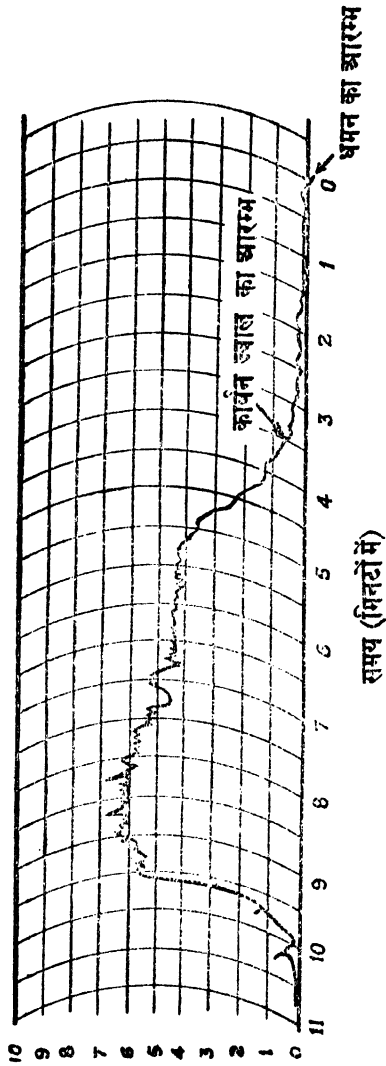
ज्वाला के शान्त होने पर धमन बंद करने के महत्त्व के विषय में ऊपर चर्चा की जा चुकी है। बैसेमर विधि में यह प्रमुख कठिनाई है, कारण कि व्यक्ति-विशेष के निर्णय की भूल से इस्पात का सर्वनाश हो सकता है। इस

चित्र ३४—प्रकाश सेल की सहायता से बेसेमर ज्वाला का नियंत्रण

व्यक्तिगत दोष को दूर करने के लिए निकट वर्षों में अनेक प्रयत्न किये गये हैं।

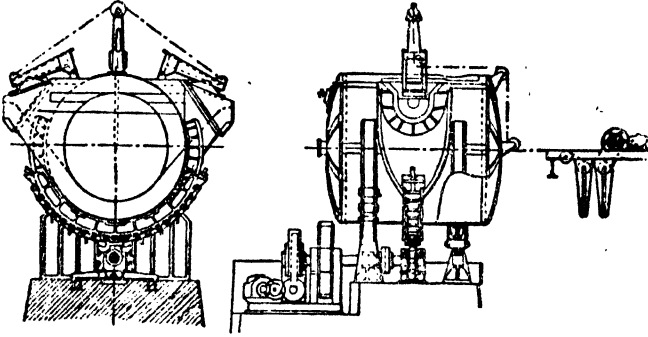
चित्र ३४ में प्रकाश सेल की सहायता से ज्वाला के नियंत्रण की विधि को स्पष्ट किया गया है। परिवर्त्तक से लगभग साठ फुट दूर स्थित विद्युतीय नेत्र चित्र ३५ में अंकित ग्राफ बनाता है। इस ग्राफ में बिन्दु 'अ' धमन का प्रारंभ दर्शाता है। 'अ' और 'ब' के बीच की दूरी सिलिकन धमन अवधि 'ब' और 'इ' कार्बन अवधि तथा 'स' और 'ड' की ऊँचाई इस्पात के ताप को दर्शाती है।

इस प्रसाधन की सहायता से बैसेमर विधि के नियंत्रण में काफी प्रगति हुई है, परन्तु इसका सही उपयोग करने और समझने के लिए अनुभव और परिस्थिति का समुचित ज्ञान आवश्यक है। क्रियाशील क्षिपों की संख्या, प्रवात का दबाव, तथा परिवर्त्तक के मुँह की दशा इत्यादि घटक ज्वाला की प्रकृति को प्रभावित करते हैं। नियंत्रण के लिए बैसेमर ज्वाला का वर्णक्रमदर्शी की सहायता से विश्लेषण किया जाता है। वर्णक्रम की स्पष्ट व्याख्या तथा तापमान के नियंत्रण के अभाव के कारण यह पद्धति अधिक लोकप्रिय नहीं हो सकी है। ज्वाला के खुले निरीक्षण और विद्युत नेत्र के लेखन की सहायता से धमन की समाप्ति और इस्पात के ताप का अच्छा नियंत्रण संभव हो सका है।

गरम पिग लोह का संभरण

बैसेमर विधि में गलित पिग लोह का धमन किया जाता है। विधि के प्रारंभिक दिनों में ठोस पिग लोह कुपला फर्नेस में गलाया जाता था। इस प्रकार प्राप्त गलित लोह की कुछ स्वाभाविक कमियाँ विधि के लिए अनुकूल नहीं बैठतीं। पुनर्गलन में कोक में विद्यमान गंधक और फास्फोरस धातु में प्रविष्ट हो जाते हैं। इसके साथ गलित धातु के रासायनिक समास और ताप की अनिश्चितता से परिवर्त्तक के धमन पर नियंत्रण रखना कठिन हो जाता है। यह कठिनाई दूर करने के लिए आधुनिक इस्पात संयंत्रों में गरम धातु मिश्रक का उपयोग होता है।

चित्र ३५—विद्युत नेत्र द्वारा अंकित ग्राफ

गरम धातु मिश्रक

प्रवात फर्नेस से आगत गलित पिग लोह का संचय करने के लिए मिश्रक व्यवहार में लाये जाते हैं। इनकी धातु-धारिता २०० से १५०० टन तक होती है। चित्र ३६ में मिश्रक का खंड दिखाया गया है। इस रंभाकार

चित्र ३६—गरम धातु-मिश्रक

विशाल पात्र में अन्दर अग्निरोधकों का अस्तर लगा रहता है। इसे रोलरों के ऊपर झुकाया जा सकता है। मिश्रक के शीर्ष पर एक तरफ प्रवात फर्नेस से आये पिग लोह को डालने के लिए मुँह रहता है और सामने की तरफ परिवर्त्तक के लिए धातु निकालने का ओष्ठ रहता है। मिश्रक के दोनों बाजू और धातु-छिद्र के सामने ज्वालक द्वारा ताप उत्पादन की व्यवस्था रहती है, जिससे उसमें पड़ी गलित धातु की ऊष्मा बनी रहती है। प्रवात फर्नेस और परिवर्त्तक के बीच में मिश्रक का उपयोग करने के अनेक लाभ हैं—

१. मिश्रक गलित पिग लोह की ऊष्मा को बनाये रखता है। प्रवात फर्नेस के एक स्रोटन[1] से प्राप्त सभी धातु को परिवर्त्तक में तुरंत धमित नहीं

१. Tapping

किया जा सकता। विलंब होने से लेडिल में रखी धातु शीतल हो जाती है। ठीक इसी तरह जब परिवर्त्तक संयंत्र को धातु की आवश्यकता हो, तब सदैव प्रवात फर्नेस को त्रोटित करना संभव नहीं है। मिश्रक प्रवात फर्नेस और परिवर्त्तक के कार्य को परस्पर स्वतंत्र कर देता है।

२. प्रवात फर्नेस से सीधी आनेवाली धातु के तापमान और रासायनिक समास में विचरण होता रहता है। पहले आनेवाली धातु का तापमान अधिक और लेडिल में रुकी, बाद में आनेवाली धातु का तापमान कम होना स्वाभाविक है। प्रवात फर्नेस के अलग-अलग त्रोटनों से प्राप्त पिग लोह के रासायनिक संगठन में विषमता रहती है। यह भिन्नता परिवर्त्तक के धमन और नियंत्रण में कठिनाई उत्पन्न करती है। मिश्रक में धातु और उसके तापमान की समता बनी रहती है जिससे बैसेमर विधि के प्रमापण[1] में सरलता होती है।

३. अनेक प्रवात फर्नेसों से आनेवाले पिग लोह मिश्रक में संचित किये जा सकते हैं। उनकी रासायनिक भिन्नता मिश्रक में आकर सम हो जाती है।

४. प्रवात फर्नेसों या परिवर्त्तकों के कार्य में अस्थायी अवरोध या रुकावट आने पर कोई गड़बड़ी नहीं होती।

५. मिश्रक की धातु में विद्यमान मैंगनीज़ गंधक के साथ MnS यौगिक बनाता है। यह MnS धातु में अविलेय होने के कारण तैरकर सतह पर आ जाता है और इस प्रकार धातु में गंधक की मात्रा कुछ कम हो जाती है।

इस प्रकार मिश्रक के उपयोग से इस्पात उत्पादन और विधि के नियंत्रण की अनेक कठिनाइयाँ दूर हो जाती हैं।

धातुकीय उपलब्धि

किसी भी विधि का आर्थिक दृष्टि से लाभदायक होना कच्चे पदार्थों

१. Standardization, मानकीकरण

से उपलब्ध अच्छे इस्पात पर अवलंबित रहता है। अम्लीय बैसेमर विधि में समापित इस्पात की लब्धि साधारणतः ८७–८८ प्रतिशत रहती है। दोषपूर्ण पद्धति रहने पर इसमें बहुत कमी हो सकती है। अतिधमन से लोह की अधिक मात्रा आक्सीकृत हो सकती है। उच्च ताप और तरलता के कारण धातु और मल परिवर्त्तक के मुँह से बाहर फेंके जा सकते हैं, अथवा धमित धातु का तापमान कम होने पर लेडिल में संपिंडित होकर धातु की हानि हो सकती है। इस प्रकार परिवर्त्तक के आर्थिक लाभ में बहुत अंतर पड़ जाता है।

क्षारीय बैसेमर विधि

क्षारीय विधि द्वारा, क्षारीय अस्तरवाले परिवर्त्तक पात्र में क्षारीय मल की सहायता से पिग लोह में विद्यमान फास्फोरस और कुछ हद तक गंधक को निष्कासित किया जाता है। विधि की सफलता और नियंत्रण के लिए उपयुक्त पिग लोह का चुनाव आवश्यक है।

पिग लोह का रासायनिक संगठन

सिलिकन—इस उपधातु के आक्सीकरण से अम्लीय सिलिका बनता है। अस्तर की रक्षा और मल को क्षारीय बनाये रखने के लिए अतिरिक्त चूना डालकर इसे निराकरित करना पड़ता है। अधिक सिलिकन से धमन में धातु गरम हो जाती है जिससे बाद में होनेवाली निःस्फुरण प्रक्रिया पर प्रतिकूल प्रभाव पड़ता है। क्षारीय विधि में ताप का उद्भव मुख्यतः फास्फोरस के आक्सीकरण से होता है। अतः पिग लोह में सिलिकन की मात्रा लगभग ०.५% रखी जाती है। इससे अधिक होने पर व्यर्थ में 'धमन अवधि' बढ़ जाती है और उपर्युक्त कठिनाइयाँ होने लगती हैं।

कार्बन—इसके आक्सीकरण में कोई कठिनाई नहीं होती। प्रवात फर्नेस से प्राप्त पिग लोह की कार्बन प्रतिशतता में अधिक परिणमन नहीं होता।

फास्फोरस—फास्फोरस समृद्ध पिग लोहों को इस्पात में परिवर्तित करने के लिए ही क्षारीय पद्धति का प्रादुर्भाव किया गया। अम्लीय विधि में मुख्यत: सिलिकन के आक्सीकरण से ताप का उद्भव होता है, परन्तु क्षारीय पद्धति में इसकी मात्रा अधिक नहीं रखी जा सकती। अत: ताप की पूर्ति के लिए फास्फोरस की मात्रा अधिक होना आवश्यक है। साथ ही क्षारीय विधि से प्राप्त मल में फास्फोरस आक्साइड P_2O_5 की मात्रा अधिक होने पर, उसका खाद के रूप में विक्रय होता है। यह विधि के आर्थिक लाभ की दृष्टि से बहुत महत्त्वपूर्ण है। ऐसा अनुमान किया गया कि १ % SiO_2 के निराकरण के लिए लगभग ३% CaO की आवश्यकता पड़ती है। इस प्रकार सिलिकन की बढ़ी हुई मात्रा से मल में P_2O_5 प्रतिशत कम कर खाद के रूप में उसका मूल्य कम कर देती है। पिग लोह में फास्फोरस की मात्रा १.५ % से अधिक होनी चाहिए।

गंधक—इस विधि में कुछ गंधकहरण[१] अवश्य होता है। मिश्रित कैलसियम और मैंगनीज़ सल्फाइड के रूप में गंधक मल में जाता है, परन्तु निष्कासन की निश्चितता न होने के कारण पिग लोह में इसकी मात्रा ०.१ % से कम रहना अपेक्षित है। प्रवात फर्नेस के कार्यन में कम सिलिकन और कम गंधक वाले पिग लोह का उत्पादन परस्पर-विरोधी दिशाओं के कारण कठिन होता है। अत: उपयुक्त पिग लोह प्राप्त करने के लिए प्रवात फर्नेस को इस प्रकार कार्यित किया जाता है कि जिससे पिग लोह में कम सिलिकन रहे। प्रवात फर्नेस के बाहर इस धातु का गंधकहरण किया जाता है। इसकी विवेचना हम अध्याय ६ में कर चुके हैं।

मैंगनीज—अल्प सिलिकन के कारण हुई ताप की कमी की कुछ पूर्ति मैंगनीज़ के आक्सीकरण से होती है। मैंगनीज़ आक्साइड क्षारीय होने के कारण मल की अम्लीयता का निराकरण करता है। विधि में होनेवाले

१. Desulphurisation

गंधकहरण में मैंगनीज़ का प्रमुख सहयोग रहता है और विधि के अंत में इसके कारण लोह का अति आक्सीकरण बचा रहता है। मैंगनीज़ आक्साइड गलित धातु में अविलेय होने से सतह पर आकर मल में मिल जाता है। इन सभी घटकों को ध्यान में रखते हुए पिग लोह में मैंगनीज़ प्रतिशत १ से २.५ तक पसंद किया जाता है। मल की क्षारीय प्रकृति और उसमें SiO_2 की कमी के कारण क्षारीय विधि में मैंगनीज़-निष्कासन की गति अम्लीय विधि की तुलना में कम होती है।

परिवर्तक की बनावट

क्षारीय परिवर्त्तक पात्र की बनावट और अन्य प्रसाधनों को सामान्य योजना अम्लीय विधि की तरह ही होती है। क्षारीय विधि में निःस्फुरण[१] के लिए अतिरिक्त चूना डालकर मल बनाना पड़ता है। इस कारण सामान्यतः क्षारोय पात्र को परिमा[२] अम्लीय परिवर्त्तक की अपेक्षा बड़ी होती है। पात्र के अन्दर निस्तप्त डोलोमाइट और तारकोल के मिश्रण को कूटकर अस्तर बनाया जाता है। नितल बनाने के लिए लकड़ी के निगों[३] के चारों ओर अग्निरोधक को कूटा जाता है। इसके पश्चात् नितल को छः दिन तक तपाया जाता है। इस अवधि में लकड़ी के निग आदग्ध होकर कोयले में बदल जाते हैं। इन्हें व्यधित कर[४] निकाल दिया जाता है और इस प्रकार क्षिप[५] बन जाते हैं। पात्र के अग्निरोधक अस्तर का जीवन २०० से ४०० धमन होता है और नितल को लगभग ४० बार उपयोग करके

१. Dephosphorisation
२. Size
३. Plug
४. Drilled
५. Tuyere

बदलना पड़ता है। प्रति टन इस्पात के उत्पादन में लगभग २२ पौंड डोलोमाइट की खपत होती है। अम्लीय अग्निरोधकों की तुलना में क्षारीय अस्तर का मूल्य अधिक पड़ता है।

धमन और रासायनिक प्रक्रियाएँ

परिवर्तक पात्र में चूने की पर्याप्त मात्रा डालकर पिग लोह चार्ज किया जाता है। यह पिग लोह मिश्रक से लिया जाता है। धमन प्रारंभ होते ही अम्लीय विधि की तरह सिलिकन मैंगनीज और कार्बन का क्रमशः आक्सीकरण होता है। इसे 'पूर्व धमन' कहते हैं। पात्र में चूने की उपस्थिति के कारण अधिक चिनगारियाँ निकलती हैं। सिलिका, मैंगनीज आक्साइड और चूने की प्रक्रिया से क्षारीय मल बनता है। क्षारीय विधि की पूर्व धमन अवधि, अम्लीय विधि के समान ही होती है। अंतर केवल इतना है कि अम्लीय विधि में चूने के साथ प्रक्रिया नहीं होती। सिलिकन की कम मात्रा और चूने की उपस्थिति के कारण सिलिकन का निष्कासन अधिक शीघ्रता और पूर्णता से होता है। मैंगनीज़ के आक्सीकरण की गति अपेक्षाकृत शिथिल होती है। इसके दो संभाव्य कारण हैं—

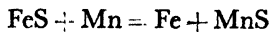
(१) मैंगनीज़ मल में $MnO.\ SiO_2$ की तरह जाता है। इस विधि में कम SiO_2 उपलब्ध रहता है।

(२) चूना मल में विद्यमान $MnO.\ SiO_2$ को प्रस्थापित करता है—

$$2\ MnO.\ SiO_2 + 2\ CaO = 2CaO.\ SiO_2 + 2MnO$$

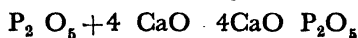
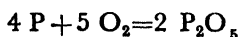
विधि में गंधकहरण प्रक्रिया इस प्रकार होती है—

$$FeS + Mn = Fe + MnS$$

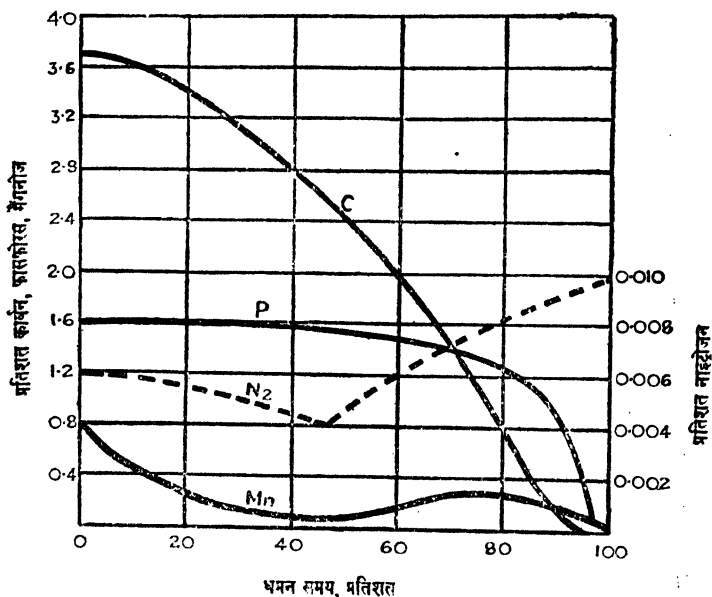
$$FeS + CaO = FeO + CaS$$

गंधकहरण संपूर्ण धमन में बराबर होता रहता है। पिग लोह की मैंगनीज़ की अधिक मात्रा इसमें सहायक होती है। कार्बन का आक्सीकरण समाप्त होने पर अम्लीय विधि की तरह ज्वाला गिर जाती है। यह धमन के प्रारंभ से १०-१२ मिनट बाद होता है। इसके बाद भी धमन किया

जाता है। इसे 'उत्तर धमन' अवधि कहते हैं। अब धातु में विद्यमान फास्फोरस का आक्सीकरण होने लगता है और वह कैलसियम फास्फेट के रूप में मल में प्रविष्ट होता है।

$$4 P + 5 O_2 = 2 P_2O_5$$

$$P_2 O_5 + 4 \ CaO \quad 4CaO \ P_2O_5$$

फास्फोरस का आक्सीकरण एक तापद क्रिया है, जिससे इस्पात का ताप ठीक बना रहता है। यह उल्लेखनीय है कि यदि पूर्व धमन में धातु का ताप कम हो तो फास्फोरस का आक्सीकरण प्रारंभ होकर उत्तर धमन अवधि में अत्यधिक लोह का आक्सीकरण हो जाता है।

उत्तर धमन में कोई ज्वाला निर्देश के लिए नहीं रहती। फास्फोरस के सही आक्सीकरण का अनुमान धमन की अवधि से लगाना पड़ता है। धमनकर्ता अपने अनुभव से यह जानता है कि निश्चित समय तक धमन करने से कितने फास्फोरस की कमी होती है। यदि इससे अधिक धमन जारी रहे तो लोह की अधिक मात्रा आक्सीकृत होने का डर रहता है। जल्दी धमन समाप्त कर देने पर धातु में फास्फोरस की मात्रा अधिक रह जाती है। अति धमन और कम धमन दोनों अवांछनीय हैं। इनका समुचित नियंत्रण करने के लिए समय-घटक का बहुत महत्त्व है। मिश्रक से प्राप्त धातु का रासायनिक समास अधिक सम होने के कारण निःस्फुरण और धमन अवधि को संबद्ध करने में सरलता होती है। यदि प्रवात फर्नेस से धातु सीधी परिवर्तक में डाली जाय तो नियंत्रण की कठिनाई कई गुनी अधिक हो जाती है। चित्र ३७ में क्षारीय धमन में होनेवाली आक्सीकरण की गति दिखायी गयी है। उत्तर धमन के प्रारंभ में यदि ताप अधिक हो तो निःस्फुरण में रुकावट आती है। इस दशा को मिटाने के लिए धमन प्रारम्भ होने के चार पाँच मिनट बाद पात्र में क्षेप्य डाला जाता है। उद्देश्य यह रहता है कि क्षेप्य भली प्रकार गलित हो जाय और उत्तर धमन अवधि क्रिया में किसी प्रकार की गड़बड़ी न होने पाये। यह लगभग पाँच मिनट चलता है, तब परिवर्तक पात्र को झुकाकर एक लंबे हैन्डिल वाले

स्त्रुव से नमूना निकालकर शीघ्रता से पानी में शीतल किया जाता है। नमूने को तोड़कर उसके भंग (Fracture) का निरीक्षण कर इस्पात में फास्फोरस

चित्र ३७—क्षारीय धमन में आक्सीकरण की गति

की मात्रा का अनुमान लगाया जाता है। इसके लिए पर्याप्त अनुभव और निर्णय-कुशलता की आवश्यकता होती है। फास्फोरस की मात्रा में कमी के साथ मणिभ छोटे होते जाते हैं।

परिवर्त्तक से लेडिल में इस्पात गिराते समय मल की अधिक से अधिक मात्रा पात्र में ही रोकने का प्रयत्न किया जाता है। जो मल लेडिल में आ जाता है उसे भी अलग करने का प्रयत्न किया जाता है। अब अनाक्सी-कारक और पुनःकार्बनक पदार्थ डाले जाते हैं। मल की उपस्थिति में इन

पदार्थों को डालने से आक्सीजन की जो कमी होती है, उससे पुनः स्फुरण[1] होने की संभावना रहती है। इस कारण मल को अलग रखने में अधिक सावधानी की आवश्यकता है।

क्षारीय विधि में धातु को लब्धि अम्लीय विधि से कम होती है। इसका प्रधान कारण उत्तर धमन अवधि में लोह का आक्सीकरण है। धमनकर्त्ता की कुशलता से इसे नियंत्रित रखा जा सकता है। साधारणतः क्षारीय विधि में धातु की उपलब्धि लगभग ८५ से ८६ प्रतिशत रहती है।

बैंसेमर इस्पात के गुण और कमियाँ

नितल धमित परिवर्त्तकों से प्राप्त इस्पात में विलयित नाइट्रोजन की चर्चा हम पहले कर चुके हैं। सारणी ७ में पिग लोह और विभिन्न विधियों द्वारा उत्पादित इस्पातों में नाइट्रोजन की मात्रा दिखायी गयी है।

सारणी संख्या ७
विलयित नाइट्रोजन प्रतिशत

पिग लोह	०.००२—०.००६%
विवृत तंदूर इस्पात	०.००४—०.००७%
द्वैध इस्पात	०.००६—०.००९%
बैंसेमर इस्पात	०.०१२—०. ०२%
एल० डी० इस्पात	०.००३—०.००६%

बैंसेमर इस्पातों में नाइट्रोजन की मात्रा अधिक होने के कारण इस्पात की तन्यता कम हो जाती है। नाइट्रोजन की उपस्थिति से वयःकाठिन्य[2] होकर कुछ यौगिक अवक्षेपित हो जाते हैं। इनके अवक्षेपण से इस्पात गहरे दाबन द्वारा आकारित होने के अयोग्य हो जाता है। फास्फोरस और

१. Rephosphorisation २. Age-hardening

आक्सीजन की मात्रा भी साधारणतः बैसेमर इस्पातों में विवृत तंदूर इस्पातों[1] की तुलना में अधिक होती है। इनके कारण यह आम धारणा हो गयी है कि बैसेमर इस्पातों की अर्हता अच्छी नहीं होती। इस्पात में नाइट्रोजन का विलयन निम्नलिखित घटकों पर आधारित रहता है—

(१) **धमन में उत्पादित ताप**—यदि अधिक ताप का उद्भव होगा तो विलयित नाइट्रोजन की मात्रा बढ़ जायगी।

(२) **नाइट्रोजन और इस्पात की सम्पर्क अवधि**—सम्पर्क को कम करने के लिए उथला कुंभ रखा जाता है।

(३) **वायु प्रवात में नाइट्रोजन का आंशिक दबाव**—यदि आंशिक दबाव कम कर दिया जाय तो विलयित नाइट्रोजन प्रतिशतता भी कम हो जाती है।

इस्पात में नाइट्रोजन की मात्रा कम करने के लिए अनेक सुधार सुझाये गये हैं। एक विधि में धमन अवधि और समापित इस्पात का ताप कम करने के लिए कार्बन ज्वाला के गिरने के कुछ पहले पात्र में 'लोह ओर' या 'मिल स्केल' डाला जाता है। इस प्रकार कुंभ का आक्सीकरण होता है और इस्पात का ताप भी कम हो जाता है। दूसरी विधि में पिग लोह के धमन के लिए आक्सीजन और वाष्प या आक्सीजन और कार्बन डाई आक्साइड का मिश्रण व्यवहृत किया जाता है। इस प्रकार नाइट्रोजन का आंशिक दबाव बहुत कम होने और वाष्प अथवा कार्बन डाई आक्साइड के विघटन के कारण शीतलीकरण से नाइट्रोजन की अधिक मात्रा विलयित नहीं हो पाती। तीसरी रीति में परिवर्त्तक की प्ररचना को बदलकर इस प्रकार की व्यवस्था की जाती है कि प्रवात पात्र के बाजू से कुंभ के मध्य में प्रवेश करे। इस प्रकार कुंभ में प्रवात की यात्रा-दूरी कम होने से धातु और नाइट्रोजन का संपर्क कम हो जाता है। चौथे सुधार में धमन दो चरणों में किया जाता है।

१. Open Hearth Steel

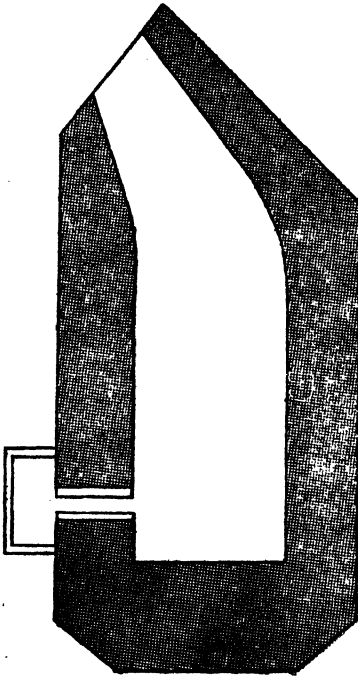
पिग लोह की आधी मात्रा और सम्पूर्ण विधि में आवश्यक चूने की पूरी मात्रा पात्र में डालकर धातु में फास्फोरस की मात्रा ०.१ प्रतिशत होने तक धमन जारी रखा जाता है। कुंभ के उथलेपन के कारण पूर्ण प्रवात-दबाव पर भी निष्कासन नहीं होता और चूने की उपस्थिति से ताप अधिक नहीं बढ़ पाता। अब बचा हुआ आधा पिग लोह डालकर पूरे चार्ज का धमन किया जाता है। द्वितीय धमन के समय पहले से मल बना रहता है और धातु का आंशिक शोधन हो चुकने के कारण शीघ्रता से बिना अधिक ताप का उद्भव हुए फास्फोरस का आक्सीकरण पूर्ण हो जाता है। इस प्रकार के संपरिवर्तन से धमन अवधि १६ – १७ मिनट से कम होकर ११––१२ मिनट हो जाती है और सामान्य धमित इस्पात की तुलना में इसकी नाइट्रोजन और फास्फोरस प्रतिशतता कम हो जाती है।

विवृत तंदूर इस्पातों की तुलना में सामान्यतः बैसेमर इस्पातों की वितान-शक्ति, कड़ापन और यंत्रन की गति अधिक होती है। इन इस्पातों के बने वंगावरित डब्बों में जल्दी मोरचा नहीं लगता। इन गुणों के साथ अच्छी संधान-क्षमता के मेल ने पाइप, कील, कँटीले तार, बोल्ट, नट, पेंच, चादर इत्यादि के उत्पादन में बैसेमर इस्पातों का उपयोग बहुत बढ़ गया है। नाइट्रोजन की मात्रा कम करने की नयी प्रविधियों के कारण गुरु उद्रेखन[1] के योग्य बैसेमर इस्पातों का उत्पादन संभव हो गया है।

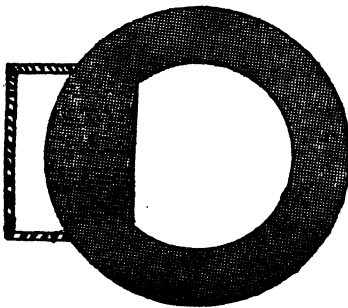
ट्रापीनास परिवर्तक

इसे बाजू धमित अम्लीय परिवर्त्तक[1] भी कहते हैं। इन पात्रों का अग्नि-रोधक अस्तर अम्लीय होता है। हम पहले चर्चा कर चुके हैं कि अम्लीय बैसेमर विधि में जब पर्याप्त ताप का उद्भव न होने से धमन शीतल होने लगता है, तब पात्र को थोड़ा झुका दिया जाता है। ऐसा करने से कुछ

१. Converter

३८—बाजू धमित पात्र (ट्रापीनास) का खंड

वायु-नल कुंभ के ऊपर निकल आते हैं और उनसे आनेवाला वायु प्रवात कार्बन मोनाक्साइड का दहन करता है। इस प्रकार पात्र के अंदर पर्याप्त ऊष्मा का उत्पादन होकर कुंभ का ताप बढ़ जाता है। ट्रापीनास परिवर्त्तक में सभी क्षिप बाजू में स्थित और द्रव की सतह से ऊपर होते हैं। इस कारण नितल धमन की तुलना में इस प्रकार से उत्पादित इस्पात का ताप अधिक होता है। इन परिवर्त्तकों की धारिता सामान्यतः ½ टन से ४ टन तक होती है। कम इस्पात की उच्च ताप पर उपलब्धि के कारण बाजू धमित पात्र संधानी[1] में इस्पात संवपनों[2] के उत्पादन के लिए अधिक लोकप्रिय हुए हैं।

परिवर्त्तक और अन्य प्रसाधन

चित्र ३८ में बाजू धमित पात्र के खंड दिखाये गये हैं। अम्लीय अस्तर वाले पात्र के

१. Foundry
२. Casting

बाजू में स्थित क्षिपों से प्रवात धमित किया जाता है। इन परिवर्त्तकों का उपयोग सामान्यतः संधानी तक सीमित है। अतः गरम धातु के संभरण के लिए मिश्रक का उपयोग नहीं किया जाता। उपयुक्त रासायनिक समास वाले पिग लोह को उत्तम कोक के साथ कुपला फर्नेस में गलाया जाता है। पिग लोह की अशुद्धियों के आक्सीकरण द्वारा इस विधि में ताप उत्पन्न होता है। वायुनलों द्वारा सतह धमन होने से पात्र के अंदर कार्बन का पूर्ण दहन होकर कार्बन डाई आक्साइड बनती है। नितल धमित अम्लीय विधि और ट्रापीनास विधि में यही मुख्य अंतर है। पहली विधि में वायु प्रवात कुंभ से होकर जाता है। उसकी समस्त आक्सीजन कुंभ में प्रक्रिया होकर समाप्त हो जाती है, जिससे कार्बन का आक्सीकरण पूर्ण नहीं हो पाता और प्रक्रिया से प्राप्त कार्बन मोनाक्साइड का दहन पात्र के मुँह के बाहर होता है। इस प्रकार अधिकांश ऊष्मा की हानि हो जाती है। बाजू धमित पात्र में ऊष्मा का उद्भव पात्र के भीतर होने से कुंभ का ताप बढ़ जाता है। इस प्रकार इस्पात का ताप लगभग १७६०° से० से अधिक बढ़ाया जा सकता है। ट्रापीनास पात्र में धमन योग्य पिग लोह का रासायनिक समास नीचे दिया गया है—

कार्बन	२.५—३ %
सिलिकन	१—१.२ %
मैंगनीज़	०.४ %
गंधक	०.०४ %
फास्फोरस	०.०४ %

धमन और रासायनिक प्रक्रियाएँ

साधारण बैसेमर विधि और ट्रापीनास विधि की रासायनिक प्रक्रियाओं में बहुत समानता होती है। बाजू धमन में प्रवात का दबाव और हवा का आयतन कम होता है। प्रवात का दबाव सामान्यतः ४ से १० पौंड

प्रति वर्गइन्च रखा जाता है। परिवर्त्तक में होनेवाली रासायनिक प्रक्रियाओं को तीन चरणों में विभक्त किया जा सकता है।

(१) वायु-प्रवात धातु की सतह पर गिरता है जिससे सतह पर लोह आक्साइड की तह बन जाती है। इसी समय कुछ सिलिकन और मैंगनीज के आक्सीकृत होने से लोह मैंगनीज़ सिलिकेट मल बन जाता है। प्रारंभ में बनी सतह में प्रमुखतः लोह आक्साइड ही रहता है।

(२) मल द्वारा कुंभ के पूर्ण रूपेण आवृत होने के पश्चात् सिलिकन और मैंगनीज़ के आक्सीकरण की गति त्वरित हो जाती है। इनका आक्सीकरण मल धातु अंतरानीक[१] पर होता है। यह बैसेमर विधि की अपेक्षा विवृत तंदूर विधि के अधिक समान है।

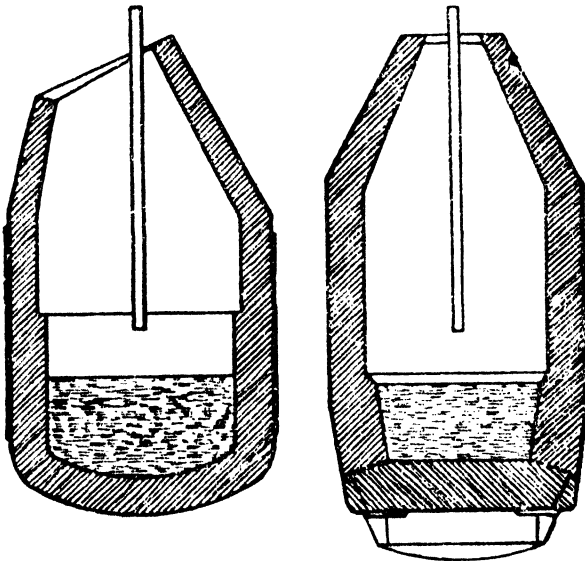
(३) सिलिकन का आक्सीकरण पूर्ण या लगभग पूर्ण होने पर कार्बन के आक्सीकरण की गति बढ़ जाती है। प्रक्रिया से प्राप्त CO के पात्र में दहन से CO_2 बनती है और ऊष्मा का उद्भव होने से कुंभ का ताप बहुत बढ़ जाता है। कार्बन के आक्सीकरण की गति १४००° से० के बाद तीव्र होती है। इतना ताप लाने के लिए पिग लोह में सिलिकन की यथेष्ट मात्रा होना आवश्यक है। यदि उसमें कमी हो तो पिग लोह को कुपला में गलाते समय, अन्यथा उसका पात्र में धमन करते समय लोह सिलिकन डालकर सिलिकन की उपयुक्त मात्रा प्राप्त की जाती है।

(४) कार्बन आक्सीकरण अवधि के अंत में जब ताप १७००° से० पार कर जाता है तब कुछ SiO_2 और MnO का कार्बन द्वारा लघ्वन[२] हो जाता है। इस प्रकार प्राप्त सिलिकन और मैंगनीज धातु में प्रविष्ट हो जाते हैं।

बैसेमर विधि की तरह इस विधि में भी पात्र के मुंह से ज्वाला निकलती है। यह पहली विधि की तुलना में छोटी होती है। कार्बन का आक्सीकरण

१. Interface २. Reduction **अपचयन, अवकरण**

समाप्त होने पर ज्वाला गिर जाती है। यही धमन की समाप्ति का निर्देशक है। इन पात्रों की धातुधारिता कम होने के कारण अति आक्सीकरण रोकने के लिए सावधानीपूर्वक नियंत्रण करने का बहुत महत्त्व है।

ट्रापीनास विधि में वायु और धातु का संपर्क कम होने से नाइट्रोजन की विलयित मात्रा अधिक नहीं होती। इस्पात में नाइट्रोजन प्रतिशत ०.००३–

चित्र ३९—एल० डी० विधि के संकेन्द्रित व विकेन्द्रित मुखवाले पात्र

०.००८ तक रहता है। धमन समाप्त होने पर धातु का अनाक्सीकरण अम्लीय बैसेमर विधि की तरह ही किया जाता है। यह इस्पात प्रमुखतः संवपनों के उत्पादन में प्रयुक्त होता है। अतः पूर्ण आक्सीकरण कर इस्पात को हनित किया जाता है जिससे गैसों का निकास नहीं होता।

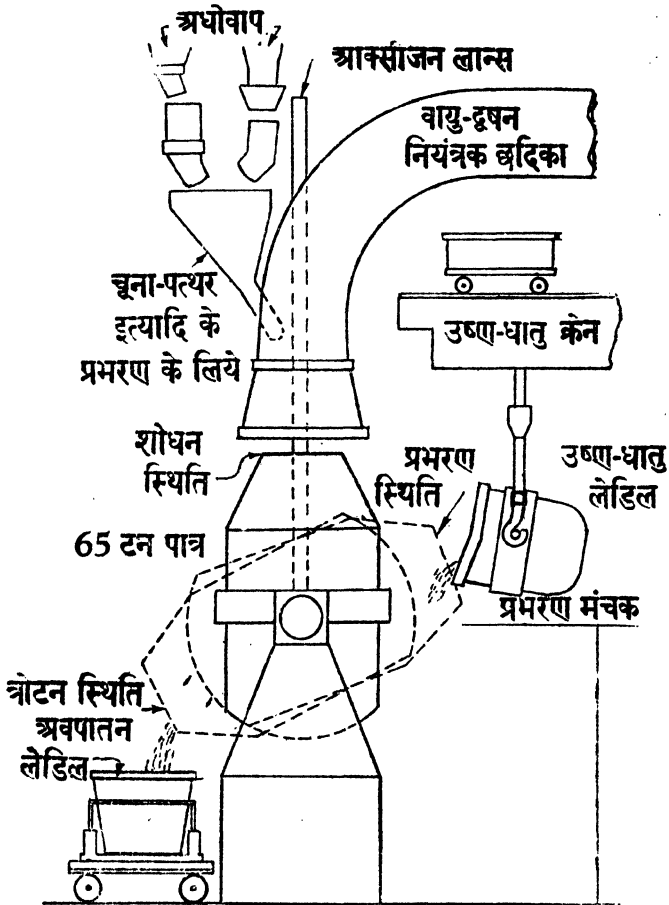
एल० डी० विधि

आस्ट्रिया में लिन्ज और डोनाविट्ज नगरों में इस्पात-उत्पादन की इस सक्षम विधि का उपयोग व्यावसायिक रूप में प्रारंभ हुआ। इस कारण इसे लिन्ज डोनाविट्ज विधि या संक्षेप में एल० डी० विधि कहते हैं। चित्र ३९ में दिखाये गये संकेन्द्रित या विकेन्द्रित मुँहवाले पात्र में जल से ठंडी की गयी नली डालकर शुद्ध आक्सीजन (९९%) १०० से १५० पौंड प्रति वर्गइंच दबाव पर धमित की जाती है। परिवर्त्तक की बनावट सभी इस्पात फर्नेसों में सरलतम होती है। इसके नितल में कोई वायुनल नहीं होते। जल शीतित एक ताम्र प्रोथ[1] वाली नली को पात्र के मध्य में ऊर्ध्वाधर लटका दिया जाता है। इसे ऊपर नीचे कर कुंभ से नली की दूरी को कम ज्यादा किया जा सकता है। पात्र में मेगनेसाइट और तारकोल या डोलोमाइट और तारकोल का अस्तर लगाया जाता है। लगभग २०० धमन के बाद सम्पूर्ण अस्तर को बदलना पड़ता है। परिवर्त्तक ट्रनियनों पर सधा रहता है, जिससे सरलता-पूर्वक उसे झुकाया जा सके। पात्र के शीर्ष पर धूलि संग्रह करने के लिए छदिका[2] लगी रहती है। (चित्र ४०)

सामान्य परिवर्त्तक विधियों का वर्णन करते समय पिग लोह में फास्फोरस प्रतिशतता की महत्ता पर विचार किया गया था। अम्लीय और क्षारीय बैसेमर विधियों के उपयुक्त पिग लोहों में फास्फोरस की मात्रा क्रमशः ०.०५% से कम और १.५% से अधिक होनी चाहिए। अतः ०.०५ से १.५ प्रतिशत के मध्य फास्फोरस की मात्रा वाले पिग लोहों को सामान्य परिवर्त्तक विधियों में उपयोजित नहीं किया जा सकता। इस समास परिसर के पिग लोहों से इस्पात के उत्पादन के लिए क्षारीय विवृत तंदूर विधि उपयुक्त है। इस विधि में पिग लोह के साथ इस्पात क्षेप्य की आवश्यकता

१. Nozzle तुंड, टोंटी

२. Hood

पड़ती है, फर्नेस में ईंधन जलाना पड़ता है और बैसेमर विधियों की तुलना में

चित्र ४०—एल० डी० विधि

उत्पादन गति कम होती है। आस्ट्रिया में इस्पात क्षेप्य और कोकीय

कोयलों की कमी है। अतः अनेक वर्षों के अथक परिश्रम और प्रयोगों के फलस्वरूप यह संपरिवर्तित विधि सफल हो सकी है। इसमें बैसेमर विधि की अधिक उत्पादन गति और विवृत तंदूर विधियों के इस्पातों की अर्हता[1] का सुंदर समन्वय होने के कारण, इसने बहुत शीघ्रता से जापान, कनाडा, जर्मनी, संयुक्त राष्ट्र अमेरिका इत्यादि देशों में लोकप्रियता प्राप्त कर ली है। भारत में उत्पादित पिग लोह में फास्फोरस की मात्रा साधारणतः ०.३% होने से इसे बैसेमर विधियों द्वारा इस्पात में परिवर्त्तित नहीं किया जा सकता। अभी तक भारत में इस्पात का उत्पादन क्षारीय विवृत तंदूर विधि अथवा अम्लीय बैसेमर और क्षारीय तंदूर के द्वैधन[2] से किया जाता है। इनकी चर्चा हम आगे के अध्यायों में विस्तारपूर्वक करेंगे। आस्ट्रिया में व्यवहृत और भारत में उत्पादित पिग लोह के रासायनिक समासों में अधिक अंतर नहीं है। इस कारण रूरकेला में स्थापित इस्पात कर्मक[3] में एल० डी० विधि द्वारा इस्पात के उत्पादन की व्यवस्था की गयी है। इस नवीन विधि द्वारा प्राप्त इस्पात में नाइट्रोजन की मात्रा बहुत कम (०.००२—०.००४ %) रहती है। यह लाभदायक पहलू विशेष उल्लेखनीय है और विधि के महत्त्व को बढ़ाता है।

धमन और रासायनिक प्रक्रियाएँ

पिछले धमन से गरम, झुके पात्र के मुँह में गलित पिग लोह और लगभग १५% क्षेप्य भरित किया जाता है। अब परिवर्त्तक को सीधा खड़ा कर आक्सीजन लान्स को नीचे किया जाता है। कुंभ की सतह से उसकी दूरी २५ से ४० इन्च रखकर लगभग १५० पौंड प्रतिवर्ग इंच दबाव पर शुद्ध आक्सीजन

१. Quality
२. Duplexing
३. Works कारखाना, निर्माणी

प्रवात द्वारा धमन प्रारंभ किया जाता है। आक्सीजन की धारा नलिका से निकल कर शंकु आकार में फैलती है तथा कुंभ की सतह को ठोकर देकर अत्यन्त उच्च तापयुक्त 'प्रक्रिया प्रदेश' का निर्माण करती है। इस प्रदेश का ताप लगभग २५००° से० होता है। यहाँ सिलिकन, मैंगनीज, लोह, कार्बन और वेग से आनेवाली आक्सीजन की प्रवल प्रक्रियाएँ होती हैं। सतह पर अशुद्धियों के आक्सीकरण से शोधित धातु का आपेक्षिक गुरुत्व ६.५ से बढ़कर लगभग ७.१ हो जाता है। पिग लोह और शोधित धातु के इस अंतर और कुंभ से गैसों के निकास के कारण शोधित धातु पात्र के नितल में जाती है और नीचे वाला पिग लोह ऊपर आता है। नीचे जानेवाली धातु में विद्यमान FeO और ऊपर आनेवाले पिग लोह के सिलिकन, मैंगनीज, कार्बन इत्यादि में प्रक्रिया होती है, जिसके कारण कार्बन मोनाक्साइड बनकर कुंभ की हलचल बढ़ाता है। अन्य आक्सीकृत अशुद्धियाँ मल में चली जाती हैं। इस प्रकार विधि के प्रारंभ से ही कुंभ स्वयं आक्सीकृत होता रहता है। अंत में जब धातु का शोधन हो जाता है तब आपेक्षिक गुरुत्व का अंतर मिट जाने और गैसों का निकास बंद हो जाने के कारण कुंभ की हलचल समाप्तप्राय हो जाती है। सतह की धातु का ताप अधिक होने के कारण उसका आपेक्षिक गुरुत्व कम हो जाता है। अतः यदि शोधन के बाद धमन जारी रखा जाय तो सतह पर का लोह आक्सीकृत होकर वाष्पित होने लगेगा, परन्तु कुंभ में आक्सीजन का विलयन अधिक नहीं बढ़ पायेगा। पुरानी परिवर्त्तक विधियों की तुलना में यह अत्यंत महत्त्वपूर्ण लाभ है। वहाँ यदि कुछ सेकंड का भी अति धमन हो जाय तो इस्पात का सर्वनाश हो जाता है।

धमन करते समय बीच-बीच में क्षारीय मल बनाने और ताप को कम करने के लिए चूना तथा क्षेप्य डाले जाते हैं। इसके साथ FeO के संयोग से अत्यंत प्रक्रियाशील क्षारीय मल बनता है। इस कारण विधि के प्रारंभ से ही निःस्फुरण होने लगता है। क्षारीय बैसेमर विधि में लगभग सभी कार्बन का आक्सीकरण होने के बाद उत्तर धमन अवधि में धातु से फास्फोरस

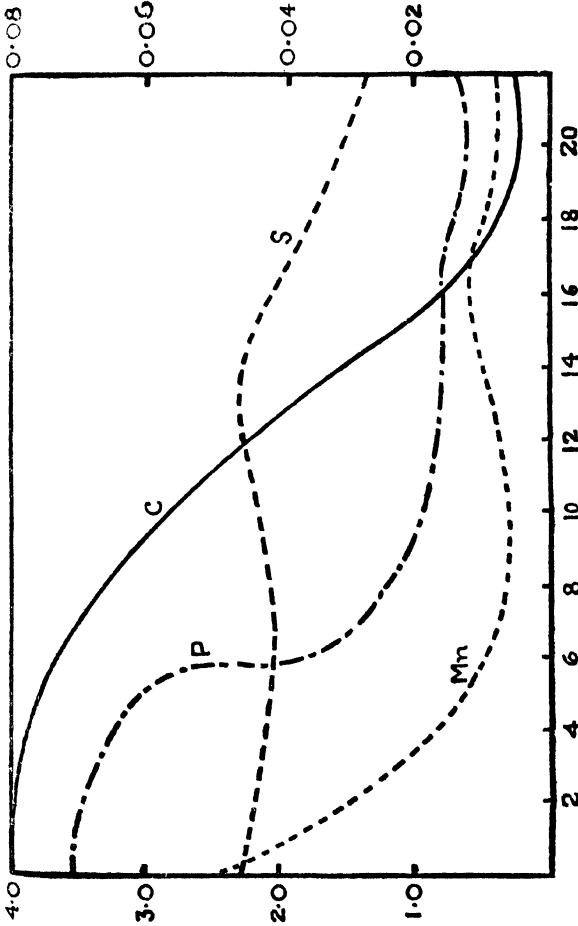
की मात्रा कम होती है। दोनों विधियों में यही मौलिक प्रभेद है। क्षारीय बैसेमर विधि में प्रभारित चूना धमन की अंतिम दशा में ही पूर्ण रूप से मल में विलयित होता है। उसके पहले वह ढेलों के रूप में निष्क्रिय रहता है। एल० डी० विधि में कार्बन और फास्फोरस का निष्कासन साथ-साथ होता है। अतः निःस्फुरण के लिए सम्पूर्ण कार्बन का आक्सीकरण आवश्यक नहीं है।

धमन लगभग १८-२० मिनट तक चलता रहता है। प्रारंभ में छोटी ज्वाला निकलती है जो ४-५ मिनट के बाद लंबी और दीप्त हो जाती है। धातु का शोधन समाप्त होने पर ज्वाला गिर जाती है। यह शोधन के अंत का निर्देशक है। एल० डी० विधि में विभिन्न तत्त्वों के आक्सीकरण की प्रगति चित्र ४१ में दिखायी गयी है।

आक्सीजन का संभरण समाप्त कर पात्र को झुका दिया जाता है तथा मल और इस्पात के न्यादर्श[1] निकाले जाते हैं। पात्र के गलित मल को गाढ़ा बनाने के लिए चूना अथवा चूर्ण-शीतल मल डालकर, इस्पात को सावधानी पूर्वक लैडिल में उड़ेल दिया जाता है। इस समय मल की अधिक-से-अधिक मात्रा परिवर्त्तक में रोकने का प्रयत्न किया जाता है। विधि में इस्पात के एक त्रोटन से दूसरे त्रोटन में लगभग ३५ से ६० मिनट लगते हैं। ३० टन धारिता वाले पात्र से प्रति मास २५,००० से ३०,००० टन इस्पात का उत्पादन किया जा सकता है।

अनाक्सीकरण प्रक्रियाएँ

आस्ट्रिया में व्यवहृत पिग लोह में मैंगनीज का औसत प्रतिशत १.८५% होता है और धमन के बाद समापित इस्पात में ०.४% मैंगनीज बच रहता है। पिग लोह में अधिक मैंगनीज की उपस्थिति और विधि की स्वयं अनाक्सी-

१. Sample नमूना

चित्र ४१—एल० डी० विधि में विभिन्न तत्वों के आक्सीकरण की प्रगति

कारक कार्यप्रणाली के फलस्वरूप एल० डी० विधि के मल और धातु में विलयित FeO की मात्रा बहुत कम रहती है। इस कारण अंतिम अनाक्सीकरण के लिए अधिक लोह मेल नहीं डाले जाते। पिग लोह में अधिक मैंगनीज़ होने से धातु की गंधक-प्रतिशतता कम रहती है और कम लोह मेल की आवश्यकता के फलस्वरूप अधातुकीय अंतर्भूतों से इस्पात अपेक्षाकृत अधिक मुक्त रहता है। कुंभ के ताप पर नियंत्रण कर इस्पात का अनाक्सीकरण नियंत्रित किया जाता है।

एल० डी० विधि के लाभ

(१) इस विधि की सफलता से वातीय विधियों का कार्यक्षेत्र बहुत बढ़ गया है। अधिक फास्फोरस प्रतिशत वाले पिग लोह शीघ्रता से श्रेष्ठ इस्पात में परिवर्त्तित किये जाते हैं।

(२) एल० डी० विधि द्वारा उत्पादित इस्पातों में नाइट्रोजन की मात्रा बहुत कम होती है। इन इस्पातों को गुरु उद्रेखन द्वारा विभिन्न आकार दिये जा सकते हैं। सामान्यतः एल० डी० इस्पातों में गंधक, फास्फोरस और आक्सीजन की मात्रा कम रहती है।

(३) इस विधि में अति उच्च ताप, अधिक मैंगनीज और क्षारीय फ्लक्स के संयोग के कारण आक्सीकारक वातावरण रहते हुए भी धातु से गंधक हरण होता है। यह अन्य विधियों में संभव नहीं है।

(४) इस्पात की अर्हता क्षारीय विवृत तंदूर के तुल्य रखने से उत्पादन गति बहुत बढ़ जाती है। कच्चे पदार्थों में भी अधिक आनम्यता के कारण एल० डी० विधि निकट भविष्य में क्षारीय विवृत तंदूर विधि की सक्षम प्रतिद्वन्द्वी बन जायगी।

(५) सामान्य परिवर्त्तक विधियों में इस्पात क्षेप्य की अधिक खपत नहीं होती और क्षारीय विवृत तंदूर फर्नेसों का चार्ज शत-प्रतिशत पिग लोह नहीं रखा जा सकता, अन्यथा विधि की कार्य-अवधि बहुत बढ़ जाती

है। एल० डी० विधि में १६ से १८ प्रतिशत इस्पात छीजन की खपत सुविधापूर्वक हो सकती है।

(६) विधि को उचित प्रकार से कार्यान्वित करने पर समापित इस्पात के अनाक्सीकरण की बहुत कम आवश्यकता रह जाती है, जिससे इस्पात अधातुकीय अन्तर्भूतों से मुक्त रहता है।

(७) विधि का प्राविधिक आचरण स्वतः अनाक्सीकारक होने के कारण कुंभ में विलयित आक्सीजन की मात्रा बहुत कम रहती है। अंत में आपेक्षिक गुरुत्व का अंतर मिट जाने पर सतह पर बना FeO वाष्पित होने लगता है। इस प्रकार अति धमन होने पर धातु का अति आक्सीकरण नहीं होता। विधि में नियंत्रण की दृष्टि से यह बहुत महत्त्वपूर्ण है। सामान्य परिवर्त्तक विधियों में कुछ सेकंडों का ही अति धमन धातु का सर्वनाश करने के लिए पर्याप्त है।

भारतीय कच्चे पदार्थ और एल० डी० विधि

आस्ट्रिया और भारत की प्रवात फर्नेसों में उत्पादित पिग लोहों का औसत रासायनिक समास नीचे दिया गया है।

पिग लोह (लिंज)		पिग लोह (भारत)
कार्बन	३.८–४.२%	३.५–४.५%
सिलिकन	०.६–१.३%	१–१.४%
मैंगनीज	१.४–२.२%	०.५%
गंधक	०.०४५%	०.०५–०.०८%
फास्फोरस	०.१२–०.२५%	०.३–०.३५%

इन दोनों समासों पर विचार करने से स्पष्ट है कि भारतीय पिग लोह में मैंगनीज प्रतिशत कम है। इसे बढ़ाने के लिए प्रवात फर्नेस के प्रभार

में मैंगनीज ओर अथवा पिग लोह की लेडिल में लोह मैंगनीज का समावेश करना पड़ेगा। इससे पिग लोह की गंधक-प्रतिशतता पर भी लाभदायक प्रभाव पड़ेगा। भारतीय पिग लोह में विद्यमान गंधक की मात्रा कम करने के लिए प्रवात फर्नेस से बाहर गंधकहरण पर विचार किया जा सकता है। लिन्ज (आस्ट्रिया) में इसका प्रयोग गंधक की प्रतिशतता ०.१ से ०.०४५ तक घटाने में किया जाता है।

भारत में लोह और इस्पात कर्मकों के समीप उपलब्ध चून पत्थर कुछ घटिया किस्म का होने से परिवर्त्तक में उसकी अधिक मात्रा का घान डालना पड़ेगा। भारतीय पिग लोह में फास्फोरस की औसत प्रतिशतता अधिक होने के कारण ऐसा करना आवश्यक है। अतः प्रति टन इस्पात के उत्पादन में अधिक मल बनेगा। आस्ट्रिया और अन्य देशों से उपलब्ध दत्तों[१] के आधार पर एल० डी० विधि द्वारा इस्पात का भारत में पुंजोत्पादन निकट भविष्य में सफलतापूर्वक किया जा सकेगा, यह विश्वास करना उचित है।

१. Data

अध्याय १०

विवृत तंदूर विधियाँ

इन विधियों में पिग लोह की अशुद्धियों का आक्सीकरण विवृत तंदूर गलन कक्ष में होता है। तंदूर में प्रभरित पिग लोह की अशुद्धियों को इस्पात क्षेप्य डालकर तनु कर दिया जाता है और शेष आक्सीकरण के लिए उपयुक्त मात्रा में लोह ओर का उपयोग किया जाता है। तंदूर में रखे धातुकुंभ पर खुली ज्वाला की क्रिया होती रहती है (चित्र ४२)। घरिया अथवा बैंसेमर विधियों की तुलना में तन्दूर विधियों में गलित धातु की गहराई और उसके तल क्षेत्रफल का अनुपात बहुत कम रहता है। बैंसेमर विधियों की तरह इन फर्नेसों का अस्तर अम्लीय अथवा क्षारीय रखा जाता है। यदि उपयुक्त रासायनिक समास का पिग लोह (जिसमें फास्फोरस की मात्रा कम हो) उपलब्ध होता है, तो उसे अम्लीय अस्तरवाली फर्नेसों में गलाकर इस्पात बनाया जाता है। इसे अम्लीय तंदूर विधि कहते हैं। विश्व की अधिकांश प्रवात फर्नेसों में उत्पादित पिग लोहों में फास्फोरस की मात्रा ०.०५%से अधिक होने के कारण, क्षारीय विधियों का उपयोग करना पड़ता है। हम क्षारीय बैंसेमर विधि की चर्चा करते समय उसके उपयुक्त पिग लोह के रासायनिक समास पर विचार कर चुके हैं। उत्तर धमन काल में पर्याप्त ऊष्मा का उद्भव होने के लिए क्षारीय बैंसेमर पिग लोह में फास्फोरस की मात्रा १.५% से अधिक होना आवश्यक है। यूरोप के कुछ देशों में फास्फोरस समृद्ध लोह ओरों के प्रद्रावण से ऐसा पिग लोह उत्पादित किया जाता है। परन्तु अन्य देशों में उत्पादित अधिकांश पिग लोहों में फास्फोरस की मात्रा अम्लीय परिधि से अधिक और १.५% से

कम होती है। इस कारण संसार के कुल इस्पात का लगभग ७५%भाग क्षारीय विवृत तंदूर विधि से बनाया जाता है। यह बहुत संभव है कि संपरिवर्तित वातीय विधियों के उपयोग से भविष्य में यह स्थिति न रहे।

विवृत तंदूर विधियों के लाभ

(१) इन विधियों में अशुद्धियों का आक्सीकरण लोह आक्साइड द्वारा किया जाता है और कुंभ का ताप ईंधन जलाकर बढ़ाया जाता है। विधि में उत्पादित ताप परिशोधन प्रक्रियाओं पर अवलंबित नहीं रहता। इस कारण ताप का नियन्त्रण और अशुद्धियों का निष्कासन बैसेमर विधियों की तुलना में अधिक सुव्यवस्थित और नियंत्रित रहता है।

(२) उपर्युक्त कारणों से उपयोग में लाये गये कच्चे पदार्थों का और उत्पादित इस्पातों का परास वातीय विधियों से बहुत विस्तीर्ण होता है।

(३) बैसेमर विधियों में अधिक इस्पात क्षेप्य की खपत नहीं होती। तंदूर विधियों में क्षेप्य की अधिक खपत एक उल्लेखनीय लाभ है। इनमें लगभग ३५ से ६० प्रतिशत क्षेप्य व्यवहृत हो सकता है।

(४) बैसेमर विधियों में अशुद्धियों और लोह के आक्सीकरण से इस्पात की लब्धि काफी कम हो जाती है। इसके विपरीत तंदूर विधियों में लोह ओर के लघ्वन से समापित इस्पात की लब्धि प्रभरित पिग लोह से अधिक होती है।

(५) विश्व की प्रवात फर्नेसों से प्राप्त अधिकांश पिग लोहों में फास्फोरस की मात्रा ०.२ से १ प्रतिशत तक रहती है। इन समासों के पिग लोह अम्लीय और क्षारीय बैसेमर विधियों द्वारा इस्पात में परिवर्तन के सर्वथा अनुपयुक्त होते हैं। क्षारीय तंदूर विधि द्वारा इन पिग लोहों से अच्छे इस्पात बनाये जाते हैं।

(६) बैसेमर विधियों के प्रकार्य के लिए गलित पिग लोह अनिवार्य है। तंदूर विधियों का कार्यन गलित अथवा ठोस चार्ज से किया जाता है।

(७) इन विधियों से नियंत्रित इस्पातों का उत्पादन संभव है तथा इस्पातों के रासायनिक समास और अन्य गुण तथा प्रवृत्तियाँ पुनरुत्पादित की जा सकती हैं। बैसेमर इस्पातों में यह परिदृढ़[1] नियंत्रण संभव नहीं है। विद्युत विधियों में यह नियंत्रण और अधिक सुधर जाता है।

(८) तंदूर फर्नेसों की धातुधारिता का परास बहुत विस्तृत होता है। एक टन और ४०० टन से अधिक धारण वाली फर्नेसों का निर्माण किया गया है।

(९) बैसेमर इस्पातों में विलयित अधिक नाइट्रोजन की चर्चा हम पहले कर चुके हैं। सामान्यतः तंदूर इस्पातों में गैसों की और विशेषतः नाइट्रोजन की मात्रा कम रहती है।

क्षारीय तंदूर विधि

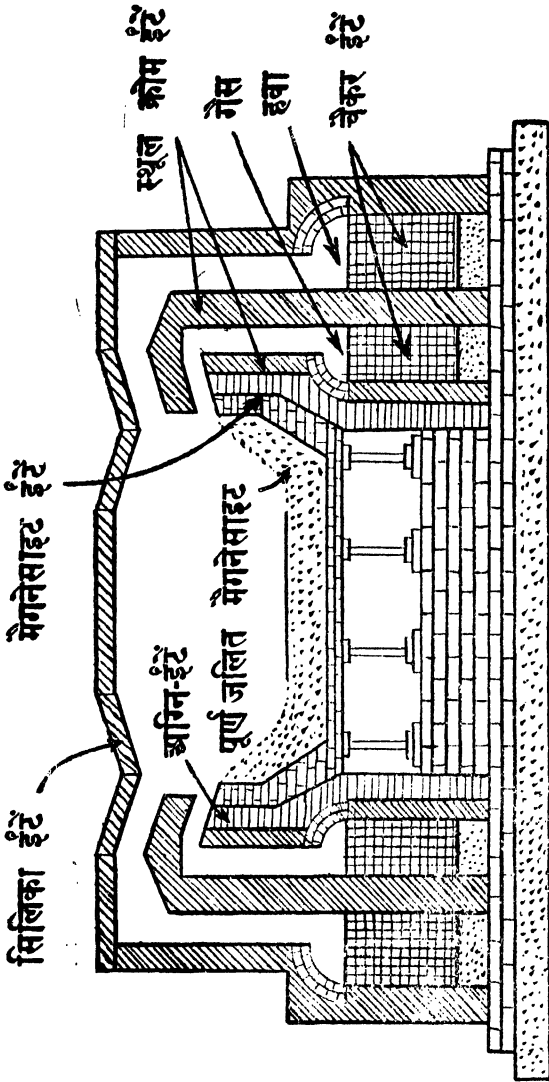
उपर्युक्त कारणों से क्षारीय तंदूर विधि इस्पात-उत्पादन की सर्वाधिक प्रयुक्त और लोकप्रिय विधि हो गयी है।

फर्नेस की बनावट

चित्र ४३ में विवृत[2] तंदूर फर्नेस का खंड दिखाया गया है। फर्नेस के विभिन्न महत्त्वपूर्ण हिस्सों का नामकरण खंड-चित्र में किया गया है।

तंदूर

इस्पात पट्टों के संधार[3] में अग्निरोधक अस्तर लगाया जाता है। अम्लीय अस्तर सिलिका ईंटों का बनता है। इस पर सिलिका रेत पिघलाकर कठोर ठोस तंदूर बनाया जाता है। क्षारीय तंदूर के गठन में मेगनेसाइट ईंटें व्यवहृत होती हैं। इन पर मैगनेसाइट कणों को उच्च

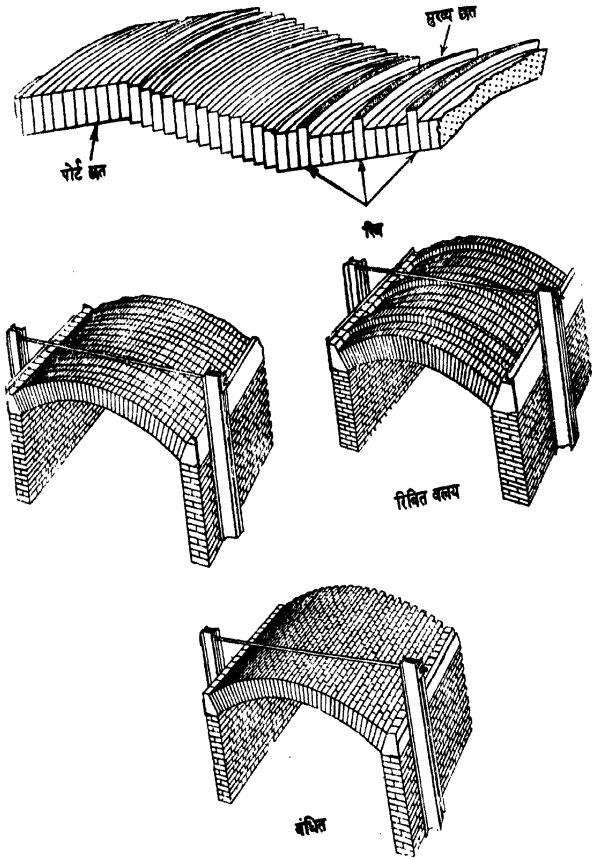
१. Rigid २. Open ३. Frame

चित्र ४३—क्षारीय विवृत तंदूर फर्नेस का खण्ड

ताप द्वारा गलाकर उत्तम तंदूर बनाया जाता है। यह स्मरणीय है कि तंदूर में लगभग १६५०° से० पर गलित इस्पात रहता है, प्रतिभरण के समय क्षेप्य और अन्य ठोस पदार्थों द्वारा अपघर्षण होता है और विधि में बने मल का रासायनिक संक्षय सहना पड़ता है। अच्छे प्रकार से बनाये गये तंदूर में उपर्युक्त सभी बातों का समावेश होना अनिवार्य है।

तंदूर विधियों में कुंभ की गहराई कम रखी जाती है। आधुनिक प्रवृत्ति के अनुसार उथला कुंभ पसंद किया जाता है। अशुद्धियों का आक्सीकरण लोह ओर की सहायता से किया जाता है, जो ताप का अच्छा संचालक नहीं होता। अतः उथले तंदूर का अर्थ हुआ कि प्रतिभरित लोह ओर की परत सतह पर अपेक्षाकृत पतली रहेगी और ऊष्मा का परिवहन अधिक अच्छा होगा। साथ ही विधि में होनेवाली रासायनिक प्रक्रियाओं की गति मल धातु, अंतरानीक क्षेत्र और धातु की मात्रा के अनुपात पर अवलंबित होती है। स्पष्ट है कि उथले कुंभ में यह अनुपात अधिक होगा। कुंभ की गहराई सामान्यतः २८ से ३६ इन्च रखी जाती है।

छत

तंदूर फर्नेसों की छत (चित्र ४४) बहुधा सिलिका ईंटों की बनायी जाती है। क्षारीय फर्नेसों में छत को छोड़कर अन्य सभी भाग क्षारीय अग्निरोधकों के बनते हैं, परन्तु छत बहुधा सिलिका ईंटों की बनायी जाती है। इन ईंटों का हलकापन, अग्निरोधकता और उच्च संपीडन शक्ति इस उपयोग के प्रधान कारण हैं। क्षारीय फर्नेसों में मलरेखा के नीचे के सभी हिस्सों का क्षारीय होना आवश्यक है। अन्यथा मल की प्रतिक्रिया से रोधक अस्तर नष्ट हो जायगा।

क्षारीय फर्नेसों में सिलिका की छत का उपयोग फर्नेस के कार्यन ताप को लगभग १६८०° से० पर सीमित कर देता है। इसके बाद सिलिका पिघलने लगता है। इस प्रकार इस्पात उत्पादन के लिए उपलब्ध परास सीमित हो जाता है। इस कठिनाई को दूर करने के लिए पूर्ण क्षारीय अस्तर वाली

चित्र ४४—विवृत तंदूर फर्नेसों की छतों में ईंटें सज्जित करने के विविध तरीके

फर्नेसों का गठन विशेषत: रूस और जर्मनी में किया गया है। इन फर्नेसों की छत और मलरेखा से ऊपर वाली दीवारें क्रोम मेगनेसाइट रोधकों की बनायी जाती हैं। ऐसा कहा जाता है कि इनके उपयोग से फर्नेस में ऊष्मा सम्भरण बढ़ाकर इस्पात उत्पादन की गति अधिक की जा सकती है। सिलिका की अपेक्षा क्रोम मेगनेसाइट का गलनांक ऊँचा होता है। इन छतों का जीवन अधिक होने से फर्नेस के एक आन्दोलन में अधिक इस्पात का उत्पादन किया जा सकता है। फर्नेस के सामनेवाली दीवार में बहुधा पाँच द्वार रहते हैं।

पुनर्जनक

इस्पात गलाने के लिए पुनर्जनन सिद्धान्त द्वारा उच्च ताप प्राप्ति की चर्चा हम पहले कर चुके हैं। फर्नेस में प्रविष्ट होने के पहले उत्पादक गैस और उसके दहन के लिए आवश्यक वायु पूर्वतप्त पुनर्जनक वेश्मों में होकर आती हैं। दहन के बाद उत्पाद फर्नेस के दूसरी ओर स्थित पुनर्जनकों में होकर चिमनी से बाहर जाते हैं। फर्नेस के प्रत्येक छोर पर दो पुनर्जनक वेश्म एक वायु और दूसरा गैसीय इंधन को पूर्वतप्त करते हैं। जब द्रव इंधन का दहन किया जाता है, तब दोनों वेश्मों में वायु गरम की जाती है। पुनर्जनक कक्षों में रोधक ईंटों की आड़ी खड़ी कतारों से छोटे-छोटे दर बनाये जाते हैं, जिन्हें 'चैकर' कहते हैं। इस प्रकार की व्यवस्था से तल-क्षेत्र बहुत बढ़ जाता है, जिसके फलस्वरूप दहन उत्पादों से ऊष्मा ग्रहण और गैसीय इंधन तथा हवा को ऊष्मा प्रदान में सुविधा होती है। फर्नेस में दहन के पूर्व इंधन और वायु का ताप ९००° से १२००° से० तक बढ़ जाता है। फर्नेस के अंदर इनके दहन से इस्पात को द्रवित रखनेवाले उच्च ताप की प्राप्ति होती है। हर २०-३० मिनट में इंधन और हवा की दिशा बदल दी जाती है। इस तरह दोनों छोरों के पुनर्जनक वेश्म बारी-बारी से गरम होकर, इंधन और हवा को गरम करते हैं तथा फर्नेस की तापीय निष्पत्ति को बढ़ाते हैं।

दहन के लिए आवश्यक वायु का आयतन अधिक होने के कारण वायु पुनर्जनक बड़े बनाये जाते हैं। ईंधन और वायु के फर्नेस में प्रवेश के लिए पोर्ट बने रहते हैं। वायु के भारीपन और ज्वाला को छत से दूर रखने के लिए वायु पोर्ट को गैस पोर्ट के ऊपर रखा जाता है। ज्वाला को छत से हटाकर कुंभ की ओर विक्षेपित करने के लिए पोर्टों को अभिनत[१] बनाया जाता है। पुनर्जनक कक्षों से पोर्टों तक उदग्र-वाहिनी रहती हैं। इनके नीचे दहन उत्पादों के साथ जानेवाले धूलि और मल-कणों को रोकने के लिए मल-कक्ष बने रहते हैं, जिन्हें समय-समय पर साफ किया जाता है। यदि यह धूलि यहाँ न रोकी जाय तो पुनर्जनकों के चेकर रुँध जायँगे।

स्थिर अभ्यानम्य फर्नेसें

तंदूर फर्नेसें स्थिर या अभ्यानम्य[२] होती हैं। सामान्यतः द्वैधन[३] में अभ्यानम्य फर्नेसों का उपयोग किया जाता है। अभ्यानम्य फर्नेसों से मल निकालने और धातु त्रोटित करने में सुविधा रहती है तथा इनके तंदूरों और दीवारों की मरम्मत सरलता से की जा सकती है। सीधी विवृत्त तंदूर विधियों में स्थिर फर्नेसों का उपयोग किया जाता है। इनका संस्थापन व्यय कम होता है। स्थिर फर्नेसों में त्रोटन छिद्र खोलने में कठिनाई होती है और इस कारण कभी-कभी बहुत विलम्ब हो जाता है। अभ्यानम्य फर्नेसों में त्रोटन छिद्र के स्थान में त्रोटन ओष्ठ[४] रहता है, जिसे फर्नेस को झुकाकर मल-रेखा के ऊपर कर दिया जाता है।

तंदूर फर्नेसों में उत्पादक गैस जलायी जाती है। जलते कोयले के

१. Inclined २. Tilting
३. Duplexing
४. Tapping spout

प्रस्तर में वायु और वाष्प का मिश्रण भेजा जाता है, जिससे वाष्प का विबन्धन[1] होकर हाइड्रोजन और कार्बन मोनाक्साइड की प्राप्ति होती है। उत्पादक गैस का औसत रासायनिक विश्लेषण इस प्रकार होता है—

CO_2 – 5-9%

CO – 18-27%

H_2 – 10-18%

N_2 – 48-55%

CH_4 – 2-4%

चित्र ४५ में गैस उत्पादक का खंड दिखलाया गया है। उत्पादक गैस के स्थान में नैसर्गिक गैस, कोक ओवन गैस तथा प्रवात फर्नेस गैस का मिश्रण और द्रव ईंधन, जैसे तेल, कोलतार उपयोग में लाये जाते हैं। नियंत्रण की सुविधा, फर्नेस में दहन की अधिक गति और द्रव ईंधन के वाहकों की सरल प्ररचना के कारण, वर्तमान प्रवृत्ति द्रव ईंधनों का उपयोग करने की तरफ अधिक है।

प्रभरण मशीन[2]

विवृत तंदूर फर्नेसों की प्रकार्य अवधि को कम रखने में चार्जिंग मशीनों का बहुत महत्त्व है (चित्र ४६)। बड़ी तंदूर फर्नेसों में ठोस पदार्थों के प्रभरण में बहुत समय नष्ट हो सकता है। इन मशीनों की सहायता से यह कार्य शीघ्रता और सरलता से किया जाता है। प्रभरण मशीन का नितल फ्रेम फर्नेस-मंचक पर लगी पाँतों पर चलता है। उस पर लगी प्रभरण गाड़ी आगे-पीछे चलती है। गाड़ी के सामने एक घूमनेवाला दंड लगा रहता है। क्षेप्य, लोह ओर, चून पत्थर इत्यादि ठोस पदार्थों के डब्बे इस दंड में फँसाकर द्वार में से फर्नेस के अंदर ले जाते हैं तथा दंड को घुमाकर

१. Decomposition २. Charging machine

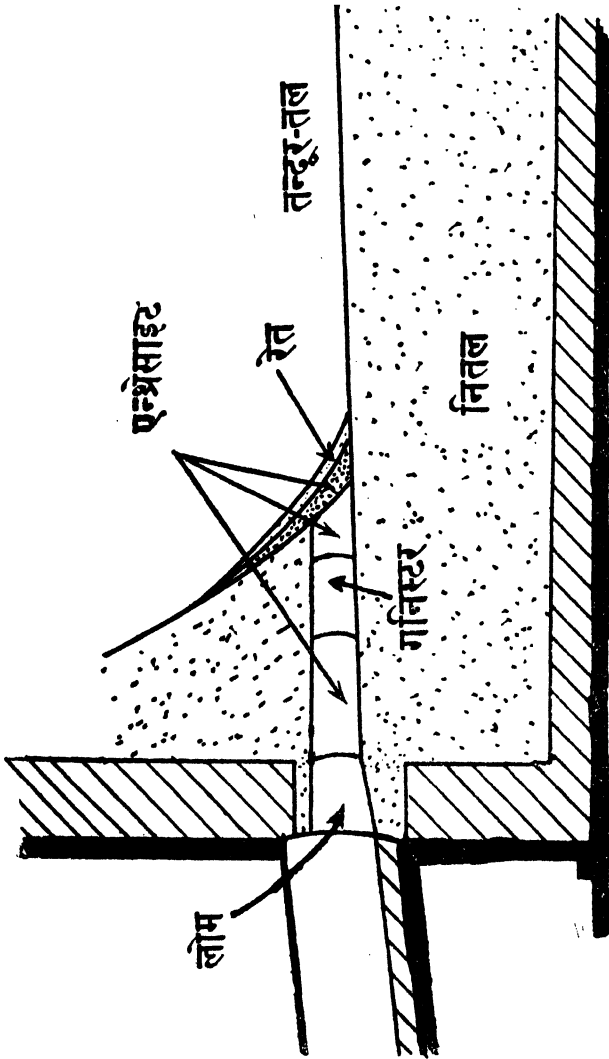
डब्बों को उलट दिया जाता है। इस प्रकार ठोस प्रभार तंदूर पर गिर जाता है। लगभग एक-डेढ़ घंटे में बड़ी तंदूर फर्नेसों का प्रभरण समाप्त हो जाता है।

अम्लीय तंदूर विधि

इस विधि में प्रयुक्त फर्नेसों का पूरा अस्तर अम्लीय होता है। छत और दीवारें सिलिका ईंटों की बनायी जाती हैं और सिलिका ईंटों पर रेत को उच्च ताप पर पिघलाकर ठोस और कठोर तंदूर का गठन किया जाता है। क्षारीय फर्नेसों की तुलना में अम्लीय तंदूर फर्नेस (चित्र ४७) छोटी होती है। इसकी धातुधारिता प्रायः ६० टन से अधिक नहीं होती।

प्रभार का चुनाव

गंधक और फास्फोरस—इस विधि में गंधक और फास्फोरस निष्कासित नहीं होते। इस कारण चार्ज का चुनाव करते समय इनकी मात्रा के संबंध में ध्यान रखना आवश्यक है। सिलिकन, मैंगनीज, कार्बन और कुछ लोह का आक्सीकरण होने के कारण इस्पात में इनकी मात्रा बढ़ जाती है। फर्नेस में दग्ध इंधन से भी गंधक की थोड़ी मात्रा कुंभ में विलयित हो जाती है। इन सब बातों को ध्यान में रखते हुए प्रभार में प्रत्येक की मात्रा ०.०५% से कम रखी जाती है। कुछ इस्पातों के उत्पादन में इनकी मात्रा ०.०३% से कम रखी जाती है।

सिलिकन और कार्बन—फर्नेस में प्रभरित पिग लोह में सिलिकन की यथेष्ट मात्रा होना आवश्यक है, अन्यथा लोह की अधिक मात्रा आक्सीकृत होकर फर्नेस के अम्लीय अस्तर को संक्षत कर देगी। सिलिकन की उपयुक्त मात्रा होने पर सिलिका बनता है और वह लोह आक्साइड के साथ प्रक्रिया कर मल बनाता है। यह अस्तर के संक्षय को रोकता है और इसके आक्सीकरण में ऊष्मा का उद्भव होने के कारण धातु के गलन में मदद मिलती है।

चित्र ४७—अम्लीय तंदूर फर्नेस का एक भाग

फर्नेस का चार्ज बनाते समय उत्पादन में इस्पात के प्रकार को ध्यान में रख कर विभिन्न अनुपात में पिग लोह और इस्पात क्षेप्य मिलाये जाते हैं। समापित इस्पात में इष्ट कार्बन की मात्रा जितनी अधिक होगी, चार्ज में पिग लोह का अनुपात उतना ही बढ़ाना पड़ेगा, जिससे कार्बन की समुचित मात्रा प्राप्त करने में सुविधा रहे। मध्यम कार्बन इस्पात के उत्पादन में कम पिग लोह और अधिक क्षेप्य की आवश्यकता पड़ती है, जिससे विधि की कार्य अवधि व्यर्थ रूप से लंबी नहीं हो पाती। यदि गलन के बाद कुंभ में कार्बन की मात्रा बहुत ऊँची रहे तो उसे आक्सीकृत कर कम करने में बहुत समय नष्ट होता है। दूसरी तरफ यदि कार्बन प्रतिशत बहुत कम रहे तो कम कार्यन अवधि में नियंत्रण की कमी से इस्पात को अर्हता नष्ट हो जाती है।

सिलिकन की मात्रा अधिक होने से चार्ज के गलन के बाद कुंभ के क्वथन की अवधि बढ़ जाती है। सिलिकन की मात्रा साधारणतः १.२ % से अधिक रहना आवश्यक है, अन्यथा गलन अवधि में धातु के अति आक्सीकरण की आशंका बनी रहती है।

मैंगनीज—पिग लोह में मैंगनीज की मात्रा सामान्यतः १.५–२ % रखी जाती है। इसकी उपस्थिति धातु को अति आक्सीकरण से बचाकर इस्पात की अर्हता को बढ़ाती है। यह कार्बन के आक्सीकरण की गति को कम कर इस्पात की शोधन-अवधि को बढ़ाता है।

फर्नेस में प्रभरित इस्पात क्षेप्य का चुनाव सावधानी से किया जाना चाहिए। उसमें गंधक और फास्फोरस की मात्रा कम होनी चाहिए तथा उस पर मोर्चा नहीं रहना चाहिए। मोर्चा रहने पर गलन के बाद धातु में कार्बन की मात्रा अनियमित हो जाती है तथा इस्पात में विलयित हाइड्रोजन गैस बढ़ जाती है, जिससे ठोस होने पर इस्पात में रोमश दरारें आ जाती हैं। इसी तरह ओर (अयस्क) इत्यादि में भी गंधक, फास्फोरस और आर्द्रता कम-से-कम होनी चाहिए।

प्रभरण—फर्नेस के प्रभरण में सबसे पहले शीतल पिग लोह डाला

जाता है जिससे लोह आक्साइड से तंदूर संक्षत न हो सके। इसके बाद क्षेप्य और फिर पिग लोह प्रभरित किया जाता है। ऊपर का पिग लोह क्षेप्य को अत्यधिक आक्सीकृत होने से बचाता है। आक्सीकरण कम रखने और शीघ्रतापूर्वक प्रभरण के समाप्त करने के लिए क्षेप्य के बड़े-बड़े टुकड़े पसंद किये जाते हैं।

गलन—प्रभरण समाप्त होने पर ईंधन और वायु को पूरी तरह खोल-कर प्रभार को शीघ्रातिशीघ्र गलाया जाता है। इसमें २-३ घंटे लग जाते हैं। इस्पात की अर्हता के लिए यह आवश्यक है कि गलन के बाद कुंभ में कार्बन की मात्रा, इस्पात में इष्ट कार्बन की मात्रा से अधिक हो, जिससे इस्पात को ठीक तरह से सँभाला जा सके। यदि सिलिकन और मेंगनीज प्रतिशत की कमी अथवा गलन काल में प्रबल आक्सीकारक वातावरण के कारण कुंभ में कार्बन की मात्रा कम होती है, तब पिग लोह या स्पीजेल डालकर उसे बढ़ाया जाता है। विधि के कार्यन का यह गलत तरीका है, जिससे इस्पात के उत्पादन में व्यर्थ विलंब होता है।

प्रभार पूर्णतः गलित होने पर ताप को कुछ समय तक बढ़ने दिया जाता है। गलन-काल में लगभग सभी सिलिकन और मेंगनीज आक्सीकृत होकर लोह आक्साइड के साथ मल बनाते हैं।

क्वथन—कुंभ का ताप यथेष्ट रूप से बढ़ जाने पर धातु में कार्बन की मात्रा का अंदाज लगाने के लिए एक विशेष स्रुव की सहायता से न्यादर्श निकाला जाता है। गलित धातु में स्रुव डालने के पहले उसे भली भाँति मल से आवरित कर लिया जाता है। गलित धातु को मोल्ड में डालकर ठोस कर लिया जाता है और पानी में बुझाया जाता है। तब उसे तोड़कर भंग[1] के अवलोकन से कार्बन प्रतिशतता का अनुमान लगाया जाता है तथा समापित इस्पात में इष्ट कार्बन की मात्रा लाने के लिए आवश्यक लोह

१. Fracture

ओर की गणना की जाती है। लोह ओर की यह मात्रा थोड़ी-थोड़ी करके तीन चार घानों में डाली जाती है और प्रत्येक बार ओर डालने के पहले भंग परीक्षा से कार्बन प्रतिशतता का अनुमान कर लिया जाता है। ओर डालने पर कार्बन मोनाक्साइड का निकास होता है, जिसे क्वथन कहते हैं। इसके शान्त होने पर कार्बन की मात्रा के आधार पर ओर चार्ज किया जाता है। उपयुक्त मात्रा में उचित समय पर ओर का प्रभरण बहुत महत्त्वपूर्ण है। यदि इसकी अधिक मात्रा डाल दी जाय तो कार्बन प्रतिशतता शीघ्रता से कम हो जायगी तथा उसकी मात्रा यथेष्ट करने के लिए पिग-लोह डालना पड़ेगा। साथ ही लोह आक्साइड के आधिक्य के कारण अस्तर के संक्षत होने की संभावना बढ़ जायगी। इसके विपरीत यदि प्रभरित ओर की मात्रा कम हो तो कार्बन के आक्सीकरण में बहुत विलम्ब होगा और इस्पात के उत्पादन की गति कम हो जायगी। यह कार्य अत्यन्त कुशलता और सही निर्णय का होता है, जिसे सीखने के लिए कई वर्षों के अनुभव की आवश्यकता होती है।

विधि के प्रारंभ में कार्बन प्रतिशतता का अनुमान भंग-परीक्षा द्वारा किया जाता है। विधि के उत्तरार्ध में कार्बन की मात्रा का सही पता धातु का विश्लेषण कर लगाया जाता है। न्यादर्श चूर्ण को गरम कर आक्सीजन प्रवाहित की जाती है, जिससे विद्यमान कार्बन जलकर CO_2 में परिवर्तित हो जाता है। इसे KOH के विलयन में अवशोषित कर कार्बन प्रतिशतता की गणना की जाती है। दूसरी विधि में कार्बनमापी का उपयोग कर शीघ्रता से कार्बन की मात्रा का पता लगाया जाता है। इस्पात में अवशिष्ट चुम्बकत्व उसमें विद्यमान कार्बन की मात्रा पर आधारित होता है। इस संबंध का उपयोग कर कार्बनमापी द्वारा शीघ्रता से कार्बन का पता लगाया जाता है।

१. Corrode

समाप्ति—इष्ट कार्बन की समीपता आने पर कुंभ में सिलिकन की मात्रा बढ़ जाती है। इस परिवृत्त को कुंभ का 'उपाधोयन'[1] कहते हैं। इस दशा में उच्च ताप पर सिलिका की कुछ मात्रा कार्बन द्वारा लघ्वित हो जाती है। इस समय मल हलके रंग का होकर उसमें विलयित लोह आक्साइड की कमी का निर्देशन करता है, और उसकी सतह समतल और शान्त हो जाती है। कुंभ की यह स्थिति अच्छे इस्पातों की अर्हता के लिए आवश्यक है।

कार्बन की यथेष्ट प्रतिशतता प्राप्त होने पर और आक्सीकरण रोकने के लिए, लोह सिलिकन डालकर कुंभ का समवरोध[2] कर दिया जाता है। सिलिकन की उपस्थिति से कार्बन का आक्सीकरण रुक जाता है। ठीक समय पर लोह सिलिकन डालने का महत्त्व स्पष्ट है। यदि उसके चार्जन में जल्दी हो जाय तो कार्बन की इष्ट मात्रा प्राप्त करने में बहुत विलंब होगा तथा देरी करने से कुंभ में कार्बन की मात्रा कम हो जायगी। उसे बढ़ाने के लिए पिग लोह डालना पड़ेगा। इस प्रकार इस्पात की अर्हता घट जायगी और व्यर्थ में समय नष्ट होगा।

विधि में कार्बन की इच्छित मात्रा को प्राप्ति निम्नलिखित दो प्रकारों से की जाती है—

(१) इस्पात में कार्बन की मात्रा बिलकुल कम करने के बाद पुनः-कार्बनिक पदार्थ डालकर उसमें कार्बन की यथेष्ट मात्रा बढ़ायी जाती है। यह रीति पूर्णतः संतोषप्रद नहीं है।

(२) दूसरी रीति में कार्बन का आक्सीकरण कर धीरे-धीरे उसकी मात्रा कम की जाती है और यथेष्ट प्रतिशतता प्राप्त होने पर इस्पात को फर्नेस से त्रोटित कर लिया जाता है। इस रीति द्वारा इस्पात का संगठन अधिक सम और अर्हता श्रेष्ठ रहती है। संपिडिण्त होने पर इस्पात में फँसे

१. Conditioning २. Block
३. Solidified

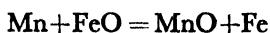
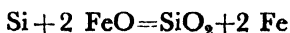
अंतर्भूत[1] भी पहली रीति की तुलना में बहुत कम रहते हैं। अच्छी पद्धति की समाप्ति दूसरी रीति से की जानी चाहिए।

अम्लीय विधि में धातु के पुनर्निःस्फुरण का भय न होने के कारण अनाक्सीकारक पदार्थ फर्नेस में डालकर इस्पात को कुछ देर तक फर्नेस में रहने दिया जाता है। इससे अनाक्सीकरण उत्पादों को ऊपर उठने के लिए पर्याप्त समय मिल जाता है और मेलीय तत्व इस्पात में समुचित रूप से विलयित हो जाते हैं। क्षारीय विधि में निःस्फ़ुरण के भय से यह करना संभव नहीं है। अम्लीय तंदूर विधि के पक्ष में यह उल्लेखनीय धातुकीय लाभ है।

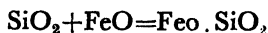
विधि की रासायनिक प्रक्रियाएँ

प्रभार के गलन काल में सिलिकन और मैंगनीज की अनाक्सीकृत लोह के साथ प्रक्रिया होती है

$$Si+2\ FeO=SiO_2+2\ Fe$$

$$Mn+FeO=MnO+Fe$$

इस प्रकार उत्पादित आक्साइडों से मल बनता है

$$SiO_2+MnO=MnO.SiO_2$$

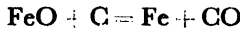
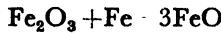
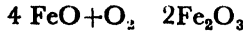
$$SiO_2+FeO=Feo.SiO_2$$

गलन समाप्त होते ही धातु सतह पर मल का आवरण आ जाता है। इस प्रारंभिक मल में FeO का सान्द्रण अधिक रहता है जो धीरे धीरे धातु में विसरित होकर कम होता है। मल से FeO का विस्थापन करने के लिए कभी-कभी चूना डाला जाता है। चूने की मात्रा सावधानी से निश्चित की जानी चाहिए, कारण कि क्षारीय होने के कारण यह अम्लीय अस्तर को द्रावित[2] करता है

१. Included things २. Fluxed

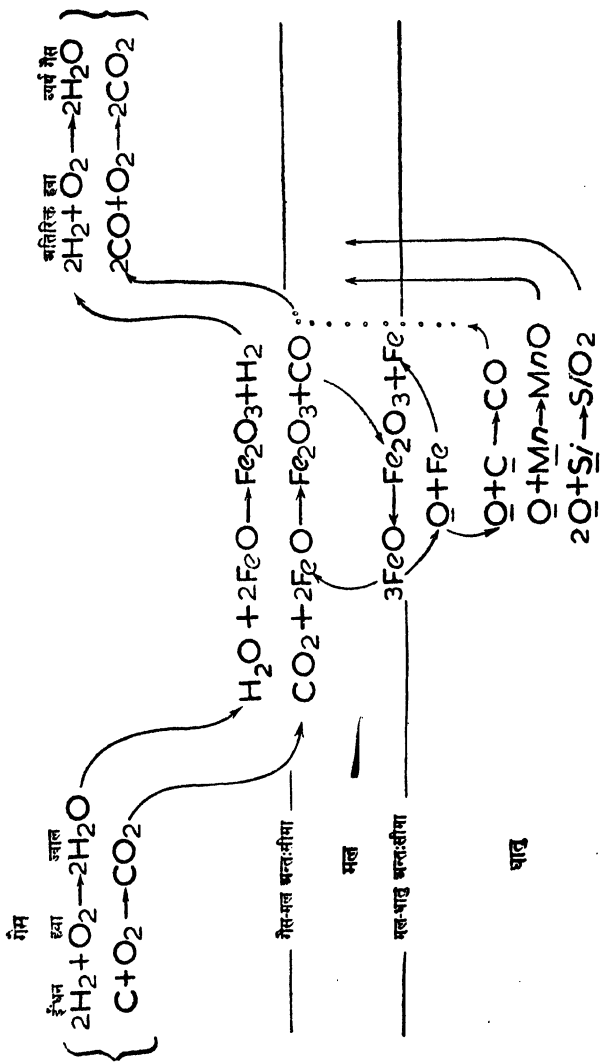
$$FeO.SiO_2+CaO = CaO.SiO_2+FeO.$$

कुंभ में लोह ओर (अयस्क) डालने पर कार्बन के आक्सीकरण से प्रबल क्वथन होता है।

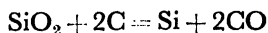
मल के ऊपरी तल पर FeO का उपचयन होकर Fe_2O_3 बनता है। विसरण और मल के प्रक्षोभ से यह धातु मल अंतरानीक[1] पर आ जाता है।

$$4FeO+O_2 = 2Fe_2O_3$$
$$Fe_2O_3+Fe = 3FeO$$
$$FeO+C = Fe+CO$$

इस प्रकार कुंभ का आक्सीकरण होता रहता है (चित्र ४८) कार्बन और FeO की प्रक्रिया से धातु और मल के आक्साइड आधेय १-अ में बहुत कमी हो जाती है। इस विधि में SiO_2, MnO और FeO मल के प्रधान घटक रहते हैं। FeO का एक बड़ा भाग SiO_2 के साथ युक्त रूप में विद्यमान रहता है। यह फर्नेस गैसों द्वारा सरलता से आक्सीकृत नहीं होता और धातु में विसरित[2] नहीं होता। इस प्रकार मल में कुल FeO आधेय की तुलना में धातु की FeO प्रतिशतता कम रहती है। मल में विद्यमान FeO + MnO के साथ लगभग ६० प्रतिशत सिलिका युक्त रहता है। यदि सिलिका की मात्रा इससे कम हो तो फर्नेस के कूलों से सिलिका विलयन में आकर कमी को पूरी कर देता है। इसी कारण अम्लीय मल को 'स्वतः समंजक'[3] कहा जाता है।

आवश्यक ओर प्रभरित हो चुकने पर कार्बन प्रतिशतता शनैः शनैः यथेष्ट बिन्दु तक आने लगती है। इस अवस्था में धातु और मल में विलयित

१. Interface १ अ-Content
२. Diffused
३. Self-adjusting

चित्र ४८—विद्युत तंदूर फर्नेस में आक्सीकरण की विधि

अधिकांश स्वतंत्र FeO प्रक्रियित होकर समाप्त हो जाता है। इस समय कुंभ में सिलिकन की मात्रा बढ़ने लगती है।

$$SiO_2 + 2C = Si + 2CO$$

यह कुंभ के संतोषप्रद आक्सीकरण का निर्देशक है। यदि कुंभ में विलयित FeO की मात्रा अधिक हो तो सिलिकन का लघ्वन[1] नहीं हो सकता। शेष FeO की मात्रा कम करने के लिए अनाक्सीकारक पदार्थ फर्नेस में डाले जाते हैं। इनकी कम मात्रा आवश्यक होती है और इस्पात को अधिक देर तक इस दशा में रखने से अंतर्भूत ऊपर उठ आते हैं। इन कारणों से अम्लीय तंदूर इस्पात क्षारीय इस्पातों की तुलना में अधिक स्वच्छ माना जाता है।

विधि की प्रास्थिति[2]

विधि की प्रास्थिति की चर्चा करने के पहले उससे सम्बद्ध सभी तथ्यों पर समुचित विचार कर लेना चाहिए —

(१) इस विधि में गंधक और फास्फोरस का निष्कासन न होने से इस्पात उत्पादन के कच्चे पदार्थों का चुनाव सावधानी से किया जाता है। क्षारीय विधि में प्रयुक्त पदार्थों की तुलना में ये अधिक स्वच्छ होते हैं।

(२) अम्लीय पद्धति में मल स्वतः समंजक होता है। इसके कारण मल की आक्सीकरण शक्ति क्षारीय विधि की अपेक्षा कम प्रबल होती है। धातु में विलयित FeO प्रतिशत कम होने के कारण अनाक्सी-कारक पदार्थों की कम मात्रा डाली जाती है। इसके विपरीत क्षारीय विधि में निःस्फुरण[3] के लिए मल को प्रबल आक्सीकारक रखना

१. Reduction
२. Status
३. Dephosphorisation

पड़ता है, जिसके फलस्वरूप कुंभ में विलयित FeO की मात्रा अधिक होती है।

(३) अम्लीय विधि में समाप्ति पर कुंभ का उपाचीयन होकर धातु में सिलिकन की मात्रा बढ़ जाती है। यह कुंभ के अनाक्सीकरण का सूचक है। इसके बाद अनाक्सीकारक पदार्थ फर्नेस में डाले जाते हैं और मेलीय तत्त्वों[1] के संतोषजनक विलयन और अनाक्सीकरण उत्पादों के ऊपर उठने के लिए पर्याप्त समय दिया जाता है। फास्फोरस समृद्ध मल के कारण यह क्षारीय विधि में करना संभव नहीं, अन्यथा कुंभ का पुनः स्फुरण हो जायगा।

इन सबके फलस्वरूप अम्लीय इस्पात के अधिक स्वच्छ होने की अधिक संभावना रहती है, जिसके कारण अनेक इंजीनियर संरचना प्रयोजनों के लिए अम्लीय इस्पात अधिक पसंद करते हैं। धीरे-धीरे अनेक उपयोगों में क्षारीय तंदूर इस्पात व्यवहार में आने लगा है। अनेक नये उपकरणों के प्रादुर्भाव से क्षारीय विधि में नियंत्रण अधिक सफलतापूर्वक करना संभव हो गया है। इस कारण इन इस्पातों की अर्हता सुधर गयी है। क्षारीय विधि में होनेवाली प्रक्रियाएँ अधिक संकुल[2] होने के कारण तापन को नष्ट कर इस्पात की अर्हता को घटाने की संभावना इस विधि में अधिक होती है। इन्हीं कारणों से क्षारीय इस्पातों के प्रति इन्जीनियरों में अनेक दिनों तक प्रतिकूल भावना बनी रही है। इस विषय में अभी तक मतभेद है, परन्तु अनेक उपयोगों के लिए जहाँ केवल अम्लीय इस्पातों का ही निर्देशन किया जाता था, अब क्षारीय तंदूर इस्पातों का व्यवहार होने लगा है। विश्वयुद्धों के समय हुई अम्लीय इस्पातों की कमी के कारण क्षारीय इस्पातों का उपयोग करने पर वे यथेष्ट संतोषप्रद पाये गये।

१. Alloying elements
२. Complex

हाल के वर्षों में क्षारीय विद्युत चाप फर्नेस इस विधि के लिए विकट प्रतिस्पर्धी के रूप में खड़ी हो गयी है। विद्युत विधि द्वारा सस्ते और निम्न कोटि के पदार्थों से श्रेष्ठ इस्पात बनाये जाते हैं। अम्लीय विधि के उपयुक्त कच्चे पदार्थों की उपलब्धि कम और मूल्य अधिक होता है। इस कारण अम्लीय विधि द्वारा इस्पात-उत्पादन का मूल्य अधिक रहता है। ऐसा अनुमान लगाया जाता है कि कुल विश्व के इस्पात-उत्पादन का १% अम्लीय तंदूर विधि से बनाया जाता है।

क्षारीय तंदूर विधि

हम पहले लिख चुके हैं कि विश्व का अधिकांश इस्पात उत्पादन क्षारीय तंदूर विधि द्वारा किया जाता है। कुल उत्पादन का लगभग तीन-चौथाई भाग क्षारीय तंदूर फर्नेसों में बनाया जाता है। इस विधि में उपयुक्त कच्चे पदार्थों का परास बहुत विस्तृत होता है। इन सस्ते और अपेक्षाकृत घटिया पदार्थों से अच्छे इस्पातों का उत्पादन किया जाता है। वातीय विधियों और अम्लीय तंदूर विधि की चर्चा करते समय हमने फास्फोरस की मात्रा का महत्त्व स्पष्ट किया था। अधिकांश पिग लोह फास्फोरस की मात्रा ०.०५% से अधिक और १.५% से कम होने के कारण अम्लीय विधियों और क्षारीय बैसेमर विधि के अनुपयुक्त होते हैं। इनसे अच्छे इस्पात का उत्पादन क्षारीय तंदूर विधि में लाभपूर्वक किया जाता है।

क्षारीय तंदूर विधि का सबसे बड़ा गुण है उसकी आनम्यता, जिसके कारण अनेक प्रकार के कच्चे पदार्थों का उपयोग कर, उत्तम इस्पातों का उत्पादन किया जा सकता है। चार्ज में क्षेप्य की मात्रा ८५% तक बढ़ायी जा सकती है या ७०% गलित पिग लोह का उपयोग किया जा सकता है। यदि प्रवात फर्नेसों की सुविधा है तो प्रभार में पिग लोह की प्रतिशतता अधिक रखी जाती है, अन्यथा क्षेप्य की मात्रा बढ़ा दी जाती है। यह वातीय विधियों में संभव नहीं है। उनकी तुलना में क्षारीय तंदूर विधि का कार्यन धीरे धीरे होता है, जिसके कारण इस्पात की अर्हता पर अधिक अच्छा

नियमन[1] रहता है। आधुनिक तंदूर फर्नेसों की बनावट और उनके सहायक प्रसाधनों में महत्त्वपूर्ण सुधार और विकास हुए हैं, जिनसे नियंत्रण और धातुधारिता बहुत बढ़ गयी है। रूस में ६०० टन धारिता वाली फर्नेसों का निर्माण किया गया है।

उपयुक्त प्रभार का चुनाव

फर्नेस में निम्नलिखित पदार्थ प्रभरित[2] किये जाते हैं — (१) ठोस और द्रव पिग लोह, (२) क्षेप्य, (३) लोह ओर, (४) चून पत्थर।

सिलिकन—फर्नेस का अस्तर और कार्यन क्षारीय होने के कारण पिग लोह में सिलिकन की मात्रा १.२५ % से कम होनी चाहिए, अन्यथा क्षारीय अस्तर और सिलिका में प्रक्रिया होती है। विधि में निःस्फुरण एक महत्त्वपूर्ण कार्य है, जिसे सफलतापूर्वक करने के लिए क्षारीय मल अनिवार्य है। सिलिका की उपस्थिति में चूना पहले सिलिका को निराकरित करता है और फिर उसकी अतिरिक्त मात्रा निःस्फुरण में योग देती है। सिलिका की मात्रा सामान्यतः ०.८ से १.२ % रहना अपेक्षित है। सिलिकन की मात्रा एकदम कम होने से विधि की कार्यन-गति बहुत मंद हो जाती है।

मैंगनीज—विधि में मैंगनीज अनेक उपयोगी कार्य करता है, जिनके कारण प्रभार में इसकी अधिक मात्रा पसंद की जाती है। पिग लोह में मैंगनीज प्रतिशत १.२५ से २ तक रहने से प्रवात फर्नेस से तंदूर फर्नेस तक लाने में (प्रमुखतः मिश्रक में) पर्याप्त गंधक पहरण हो जाता है। अच्छी क्षारीय तंदूर प्रविधि में कुंभ में विधि के आद्योपांत ०.२–०.३%अवशिष्ट मैंगनीज रखा जाता है। यह धातु को अति आक्सीकरण से बचाने के लिए सर्वोत्तम बीमा है। इसी के कारण अच्छी प्रकार बनाये गये क्षारीय तंदूर

१. Regulating २. Charged

इस्पात की अर्हता अम्लीय तंदूर इस्पात के समकक्ष हो पाती है। मैंगनीज की अधिकांश मात्रा प्रभार के गलन में आक्सीकृत हो जाती है, जिसके कारण मल की तरलता बढ़ जाती है। यह तापन के शीघ्रतापूर्वक कार्यन में योग देती है।

फास्फोरस—फास्फोरस की इष्ट मात्रा का निष्कासन इस विधि में संभव है। इसी कारण यह इस्पात-उत्पादन की सर्वाधिक लोकप्रिय विधि-बन गयी है। विभिन्न फास्फोरस प्रतिशतता वाले कच्चे पदार्थों का उपयोग कर अच्छे इस्पातों का उत्पादन क्षारीय तंदूर विधि का सबसे बड़ा गुण है। अधिकांश पिग लोहों में फास्फोरस प्रतिशतता १ से कम होती है। यह इस विधि के लिए आर्थिक दृष्टि से बहुत उपयुक्त है, कारण कि फास्फोरस (स्फुर) की मात्रा बढ़ जाने पर विधि की कार्यअवधि वढ़ जाती है।

गंधक—इस्पात फर्नेसों में आक्सीकारक वातावरण रहने के कारण गंधकहरण संतोषजनक नहीं होता। फर्नेस गैसों में SO_2 विद्यमान रहती है, जिसकी कुछ मात्रा कुंभ में विलयित हो जाती है। चार्ज में मैंगनीज की यथेष्ट मात्रा रहने पर गंधकहरण में सहायता मिलती है। सामान्यतः इस्पात के उत्पादन में गंधक का निष्कासन करना कठिन होता है। धातु में इसकी मात्रा घटाने के लिए अतिरिक्त फ्लक्स डालकर अधिक मल बनाना पड़ता है। यह तापीय और आर्थिक दृष्टि से लाभदायक नहीं होता। इसलिए पिग लोह में गंधक की मात्रा ०.०४ से कम रहना वांछनीय है।

कार्बन—सामान्यतः प्रभार में पिग लोह और क्षेप्य की मात्रा बराबर रखी जाती है, परन्तु यह अनुपात समापित इस्पात में इष्ट कार्बन की मात्रा को ध्यान में रखकर संपरिवर्तित कर दिया जाता है। इस प्रकार गलन समाप्त होने पर कुंभ में प्रारंभिक कार्बन की मात्रा ०.५ से १.५% रहती है। कार्बन प्रतिशतता अनावश्यक रूप से अधिक होने पर विधि की कार्य अवधि व्यर्थ बढ़ जाती है।

प्रभार में क्षेप्य, लोह ओर और चून पत्थर का चुनाव करते समय आर्द्रता और जर का ध्यान रखना आवश्यक है, अन्यथा इस्पात में विलयित

हाइड्रोजन की मात्रा बढ़ जाती है। यह उत्तम इस्पात के लिए अवांछनीय है और संपिण्डन में रोमश[1] दरारें बनाती है।

चार्जन का क्रम

विधि में अनेक प्रकार के प्रभार व्यवहृत हो सकते हैं। इस कारण प्रभरण का क्रम विभिन्न कच्चे पदार्थों की उपलब्धि और द्रावक के अनुभव पर निर्भर रहता है। सामान्य प्रविधि में प्रभरण करते समय निम्नलिखित बातों को ध्यान में रखा जाता है—

(१) नितल में हलका क्षेप्य प्रभरित किया जाता है। यह तंदूर को अपघर्षण और आघात से बचाता है। यदि इसे प्रभार के शीर्ष पर रखा जाय तो अति आक्सीकरण होकर मल में हानि होने की संभावना बढ़ जायगी।

(२) हलके क्षेप्य के ऊपर चून पत्थर का घान डाला जाता है। एकदम नितल पर रखने से चूना चिपककर तंदूर को ऊबड़-खाबड़ बना देता है, जिससे कार्यन में अनेक कठिनाइयाँ उठ खड़ी होती हैं। चून पत्थर ताप-रोधक होने के कारण प्रभार के शीर्ष पर नहीं डाला जाता। गलन में सिलिकन के आक्सीकरण से सिलिका बनता है। क्षारीय तंदूर का अम्लीय सिलिका से बचाव करने के लिए चून पत्थर का लगभग नितल के समीप रहना आवश्यक है। विधि की सफलता के लिए निश्चित समय पर कुंभ में 'चून क्वथन' होना महत्त्वपूर्ण है। हम इस पहलू पर आगे विस्तारपूर्वक विचार करेंगे।

(३) अशुद्धियों को आक्सीकृत करने के लिए लोह ओर और प्रभार में मैंगनीज की मात्रा बढ़ाने के लिए मैंगनीज ओर चून पत्थर के ऊपर डाला जाता है। गलित होकर पिग लोह के नीचे आश्च्योतन[2] करती अशुद्धियाँ ओर द्वारा सरलता से आक्सीकृत हो जाती हैं।

१. Hair line २. Trickling

(४) ओर के ऊपर क्षेप्य के बड़े खंड और फिर ठोस पिग लोह का घान डाला जाता है। पिग लोह की तुलना में क्षेप्य में अशुद्धियाँ कम रहती हैं। क्षेप्य को एकदम शीर्ष पर रखने से फर्नेस की आक्सीकारक ज्वाला से उसका अति आक्सीकरण हो जाता है। इस कारण क्षेप्य को ठोस पिग लोह के नीचे रखा जाता है।

उपर्युक्त प्रभार क्रम में सभी शीतल पदार्थों का उपयोग किया गया है। गलित पिग लोह उपलब्ध न होने पर यह वृत्ति अपनायी जाती है। प्रवात फर्नेसों को गलित पिग लोह की सुविधा होने पर प्रभार क्रम बदल जाता है। फर्नेस में गलित पिग लोह डालने के पहले क्षेप्य चूना और लोह ओर प्रभरित किये जाते हैं। ठोस पदार्थों के लेपी होने पर गलित धातु डाली जाती है। सभी प्रभार शीतल होने पर विधि की अवधि बढ़ जाती है।

विधि

विधि में प्रभरण क्रम के अनुसार निम्नलिखित मुख्य चरण[1] होते हैं—

(१) गलन

(२) ओर क्वथन

(३) चून क्वथन

(४) शोधन या कार्यन

(५) समाप्ति

कार्यन-अवधि का उपर्युक्त चरणों में विभाजन एकदम अलग अलग नहीं किया जा सकता। एक तापन से दूसरे तापन में ठोस या गलित पिग लोह और उसकी प्रतिशतता, क्षेप्य चून पत्थर, ओर इत्यादि की प्रकृति और मात्रा के ऊपर इन चरणों का विस्तार अवलंबित रहता है। इनमें

१. Stage प्रक्रम

बहुत अतिछादन[1] भी होता है। उदाहरणार्थ, गलन चून-क्वथन तक चलता रहता है। प्रभरित चून पत्थर गलन समाप्त होने के पहले पूर्णरूप से ऊपर नहीं उठ पाता, परन्तु क्षेप्य का गलन समाप्त होने के पहले ही चून-क्वथन प्रारंभ हो जाता है।

गलन

शीघ्र गलन के लिए पिछले तापन को त्रोटित करने के बाद जल्दी-से-जल्दी फर्नेस में घान डालना चाहिए, जिससे पुनर्जनक वेश्मों का ताप कम न होने पाये। फर्नेस के प्रभरण के समय ईंधन बंद रहता है और द्वारों को खोलकर प्रभरण करना पड़ता है। पुनर्जनकों को ठंडे न होने देने के लिए चिमनी का वातयम[2] बंद कर दिया जाता है।

तंदूर विधि में ज्वाला आक्सीजन का प्रमुख स्रोत रहती है। ईंधन के दहन के लिए अतिरिक्त वायु फर्नेस के वातावरण को प्रबल आक्सीकारक रखती है। क्षेप्य के गलन काल में उसके आक्सीकरण से बना FeO विधि के कार्यन में महत्त्वपूर्ण भाग लेता है, क्योंकि मल की आक्सीकरण शक्ति उसमें विलयित लोह आक्साइड पर अवलंबित रहती है। क्षेप्य के आक्सीकरण से प्राप्त FeO की मात्रा निम्नलिखित घटकों पर आधारित रहती है—

(१) ईंधन के दहन में जितनी अतिरिक्त वायु का प्रयोग किया जायगा, फर्नेस का वातावरण उतना ही अधिक आक्सीकारक होगा, जिससे क्षेप्य की अधिक मात्रा आक्सीकृत होगी।

(२) क्षेप्य[3] के टुकड़ों का आकार और परिमा भी उसके आक्सीकरण को नियंत्रित करते हैं। भारी टुकड़ों की तुलना में हलका क्षेप्य अधिक शीघ्रता से आक्सीकृत होता है।

१. Overlapping २. Damper ३. Scrap

(३) फर्नेस की आयु अधिक हो जाने पर पुनर्जनकों के चैकर कुछ रुँध जाते हैं, जिससे गलन अवधि बढ़ जाती है और अधिक क्षेप्य का आक्सीकरण होता है।

गलन काल में ऊष्मा का संभरण[1] अधिकतम रखा जाता है जिससे प्रभार शीघ्रता से गलित हो जाय। क्षेप्य के टुकड़े लेपी हो जाने पर, तंदूर में जहाँ तहाँ धातु के पल्वल बन जाते हैं। इस समय गलित पिग लोह प्रभरित किया जाता है। यदि फर्नेस प्रभार का ताप गलित पिग लोह से कम हो तो पिग लोह अभिशीतित[2] हो जाता है। यह वांछनीय नहीं है। पिग लोह की अशुद्धियाँ फर्नेस में विद्यमान लोह आक्साइड से आक्सीकृत हो चूने द्वारा द्रावित[3] होती हैं। अतः यह स्पष्ट है कि क्षारों से प्रक्रिया होने के पूर्व अम्लीय अशुद्धियों का आक्सीकरण आवश्यक है। प्रभरण-क्रम में चून पत्थर को लगभग नितल पर प्रभरित करने से आक्सीकरण और द्रावण इन दोनों क्रियाओं में यथोचित समयांतर हो जाता है।

ओर क्वथन

फर्नेस में डालते ही पिग लोह का शोधन प्रारंभ हो जाता है। लोह आक्साइड पिग लोह में विद्यमान सिलिकन, मैंगनीज और फास्फोरस का आक्सीकरण करता है। इस काल में बने मल में लोह आक्साइड की प्रतिशतता अधिक रहती है। कार्बन और लोह आक्साइड की प्रक्रिया से CO गैस बनती है, जिसके निकास के कारण मल फेनित होकर ऊपर उठने लगता है। जब मल की सतह द्वारों की देहली तक उठ जाती है, तब फर्नेस का मलछिद्र खोलकर अतिरिक्त मल बाहर निकलने दिया जाता है। फर्नेस द्वारों के सामने डोलोमाइट कणों से रुकावट बनाकर, मल को सामने

१. Supply २. Chilled
३. Fluxed

निकलने से रोका जाता है। इस मल में लोह् आक्साइड प्रतिशत ३० तक होता है। उद्धावन[1] प्रविधि की आवश्यकता अधिक गलित पिग लोह की मात्रा वाले तापनों में ही होती है। अधिक क्षेप्य वाले तापन में मल को नहीं निकाला जाता। प्रारंभिक मल का उद्धावन कर देने से फर्नेस में अशु-द्धियों की, विशेषत: सिलिका की मात्रा बहुत कम हो जाती है। क्षेप्य की अपेक्षा पिग लोह् में सिलिकन की मात्रा अधिक होने के कारण उत्तम क्षारीय मल बनाने के लिए प्रारंभिक मल उद्धावित किया जाता है।

चून क्वथन

ओर क्वथन के मन्द होने के समय तक अधिकांश क्षेप्य गलित हो जाता है। अब नितल में पड़े चून पत्थर का निस्तापन अधिक वेग से होने लगता है। ऊपर उठते समय CO_2 और कार्बन में प्रक्रिया होकर CO बनती है और इस प्रकार कुंभ खदबद करता है, जिससे कुंभ और मल का सम्पर्क-क्षेत्र और ताप बढ़ जाता है। इस काल में चूना तलो से उठकर सतह पर आता है और मल को क्षारीय बनाता है। मल में चूने की प्रक्रिया से मैंगनीज और लोह् के आक्साइड मुक्त हो जाते हैं और कुंभ में विलयित अशुद्धियों का आक्सीकरण करते हैं। चूना मल में विद्यमान सिलिका को निरा-करित कर $2CaOSiO_2$ बनाता है। इसके अतिरिक्त चूना निस्फुरण के लिए उपलब्ध रहता है। अत: प्रभार में सिलिकन की कम मात्रा का महत्त्व स्पष्ट है।

कार्यंत-अवधि

यह काल द्रावक[2] को अपनी कुशलता सिद्ध करने के लिए सर्वाधिक

१. Flushing

२. Melter

महत्त्वपूर्ण है। कुंभ में विद्यमान अशुद्धियाँ अधिकांश रूप में निष्कासित हो चुकने के बाद, फास्फोरस को कम रखकर इस्पात की कार्बन मात्रा को कम करते हुए इस्पात की अर्हता को बनाये रखना और विधि में अनावश्यक विलंब को रोकना, यह द्रावक के अनुभव और कुशलता को प्रमाणित करते हैं। इस समय मल के गुणों को नियमित करना अनिवार्य होता है, कारण कि इसी पर इस्पात की अर्हता अवलंबित रहती है। संतोषजनक निस्स्फुरण के लिए मल क्षारीय, आक्सीकारक और तरल होना चाहिए। अत्यधिक उच्च ताप होने पर निस्स्फुरण में कठिनाई होती है। अतः कुंभ का ताप लगभग १४५०° से० पहुँचने तक धातु में फास्फोरस (स्फुर) की मात्रा यथेष्ट कम हो जानी चाहिए। तापन को कार्यित करने की निम्नलिखित दो रीतियाँ काम में लायी जाती हैं—

(१) कुंभ में कार्बन की मात्रा घटाकर लगभग ०·१ %कर दी जाती है। अब पुनः कार्बनन द्वारा कार्बन की मात्रा बढ़ायी जाती है।

(२) कुंभ में कार्बन की मात्रा धीरे-धीरे कम होती है। इष्ट कार्बन की मात्रा प्राप्त होने पर कार्बन के निष्कासन को रोक दिया जाता है। पहली रीति की तुलना में यह अधिक संतोषप्रद है, कारण कि पुनः कार्बनन में अच्छा मिश्रण नहीं हो पाता और एकत्र न होने की संभावना रहती है।

कार्बन की इष्ट मात्रा और कुंभ का उपयुक्त ताप लगभग साथ में प्राप्त होना चाहिए। यदि तापन कम हो तो यथेष्ट कार्बन प्रतिशत की प्राप्ति का कोई महत्त्व नहीं रहता, कारण कि कुंभ का त्रोटन-ताप आते-आते आक्सीकरण के कारण कार्बन की मात्रा कम हो जायगी। ऐसी अवस्था में 'पिगन' किया जाता है अर्थात् पिग लोह डालकर कार्बन की मात्रा को बढ़ाया जाता है या स्थिर रखा जाता है। पिग लोह डालने से कुछ क्वथन होता है और कुंभ का ताप बढ़ जाता है। कभी-कभी कार्बनहरण की गति मन्द रहती है। उसे बढ़ाने के लिए लोह ओर डाला जाता है जिसे 'ओरन' कहते हैं। यह स्मरणीय है कि त्रोटन करने के आध घंटे पूर्व से

लोह ओर का प्रभरण बंद कर दिया जाता है, अन्यथा धातु में विलयित लोह आक्साइड की मात्रा बढ़ जाती है और इस्पात की अर्हता घट जाती है

यथेष्ट ताप का निर्णय करने के लिए निम्नलिखित दो प्रकार के परीक्षण किये जाते हैं—

(१) **स्रुव परीक्षण**—एक विशेष प्रकार के स्रुव को भली प्रकार मल में आवरित कर, उसमें धातु निकालकर गिरायी जाती है और स्रुव में बची संपिण्डित धातु की मात्रा और आकार पर से कुंभ के ताप का निर्णय किया जाता है। इस परीक्षण पर मल की श्यानता और धातु की कार्बन प्रतिशतता का प्रभाव पड़ता है।

(२) **दंड परीक्षण**—इस्पात के दंड को शीघ्रता से कुंभ में डुबाया जाता और क्षैतिज समतल में आगे पीछे चलाया जाता है। कुंभ का ताप बहुत कम होने पर अतिरिक्त इस्पात दंड पर जम जाता है; कम होने पर दंड के सिरे पर कंटाग्र[1] काट हो जाता है; ठीक ताप पहुँचने पर साफ और सम कटता है तथा ताप बहुत उच्च होने पर काट अवतल होता है और मलक्षेत्र के सम्पर्क में आये भागों में खाँचे बन जाते हैं।

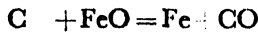
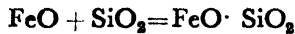
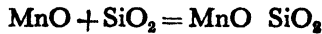
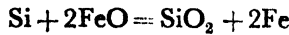
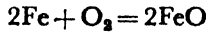
समाप्ति—यथेष्ट ताप और रासायनिक समास प्राप्त होने पर इस्पात को त्रोटित किया जाता है। त्रोटन छिद्र तंदूर के नितल समित्र[2] में स्थित होने के कारण पहले धातु की धारा निकलकर लेडिल में गिरती है। पर्याप्त मात्रा में धातु निकल जाने के बाद मल आना प्रारंभ होता है। मल की अनुपस्थिति में पुनःस्फुरण का भय नहीं रहता और लेडिल में अनाक्सीकर तथा पुनः कार्बनीकर पदार्थ डाले जाते हैं, जिससे कार्बन प्रतिशतता यथोचित बढ़ जाये और धातु में विलयित अतिरिक्त आक्सीजन में समुचित कमी हो जाये। क्षारीय फर्नेस में फास्फोरस समृद्ध मल की उपस्थिति में

१. Pointed २. Plane

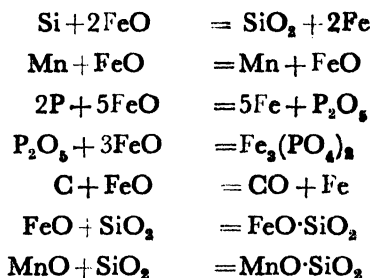
अनाक्सीकर और पुनःकार्बनक पदार्थ नहीं डाले जाते, अन्यथा फास्फोरस अपचयित होकर कुंभ में प्रविष्ट हो जायेगा।

रासायनिक प्रक्रियाएँ

गलन काल—गलन काल में आक्सीकारक ज्वाला चार्ज को आक्सीकृत करती है। चार्ज में क्षेप्य के अतिरिक्त शीतल पिग लोह भी हो सकता है। पिग लोह का क्षेप्य की तुलना में कम आक्सीकरण होता है। अधिक तल क्षेत्र के कारण हलके क्षेप्य का आक्सीकरण अधिक होता है। गलन काल में चार्ज में विद्यमान कुछ सिलिकन, मैंगनीज, फास्फोरस और कार्बन का भी आक्सीकरण होता है। गलन चार्ज के शीर्ष से आरंभ होकर धीरे धीरे नीचे की तरफ बढ़ता है। यदि ईंधन में गंधक की अधिक मात्रा विद्यमान हो तो उसकी कुछ मात्रा चार्ज में विलयित हो जाती है।

$$2Fe + O_2 = 2FeO$$
$$Si + 2FeO = SiO_2 + 2Fe$$
$$Mn + FeO - MnO + Fe$$
$$MnO + SiO_2 = MnO\ SiO_2$$
$$FeO + SiO_2 = FeO \cdot SiO_2$$
$$C + FeO = Fe + CO$$

ओर क्वथन काल—गलन काल के बाद होने वाली रासायनिक प्रक्रियाएँ प्रभार की बनावट पर निर्भर रहती हैं। अधिक क्षेप्यवाले प्रभार में ओर की आवश्यकता नहीं रहती, कारण कि गलन में क्षेप्य का आक्सीकरण होकर पर्याप्त आक्सीजन उपलब्ध हो जाती है। ओर न होने पर अम्लीय पदार्थों के द्रावण के लिए कम चून पत्थर की आवश्यकता होगी। चार्ज में पिग लोह (शीतल या गलित) की मात्रा अधिक होने पर अशुद्धियों के आक्सीकरण के लिए ओर अधिक मात्रा में डाला जाता है। गलित पिग लोह डालते ही उसमें विद्यमान सिलिकन, मैंगनीज, फास्फोरस और कार्बन का

आक्सीकरण होने लगता है। पहले आक्सीकृत क्षेप्य और बाद में ओर से आक्सीजन की प्राप्ति होती है।

$$Si + 2FeO = SiO_2 + 2Fe$$
$$Mn + FeO = Mn + FeO$$
$$2P + 5FeO = 5Fe + P_2O_5$$
$$P_2O_5 + 3FeO = Fe_3(PO_4)_2$$
$$C + FeO = CO + Fe$$
$$FeO + SiO_2 = FeO \cdot SiO_2$$
$$MnO + SiO_2 = MnO \cdot SiO_2$$

उपर्युक्त प्रक्रियाएँ तापद होने के कारण कुंभ का ताप बढ़ाने में योग देती हैं। लोह और मैंगनीज आक्साइड तथा सिलिका की प्रक्रिया से मल बनता है। प्रारंभिक मल में इनकी प्रतिशतता अधिक रहती है।

गलन और ओर क्वथन में गंधक का आचरण

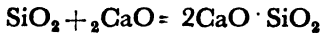
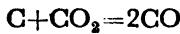
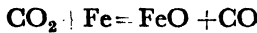
इस्पात से अन्य तत्त्वों के निष्कासन की तुलना में क्षारीय तंदूर विधि में गंधकहरण अपूर्ण और अनिश्चित रहता है। इस कारण प्रभार का चुनाव करते समय गंधक की मात्रा कम रखने के लिए विशेष प्रयत्न किया जाता है। गलन काल में चार्ज द्वारा गंधक का अवशोषण कम करने के लिए फर्नेस गैसों में आक्सीजन की मात्रा अधिक रखी जाती है, जिससे गंधक शीघ्रता से SO_2 में परिवर्तित हो जाता है और उसके इस रूप में अवशोषित होने की संभावना कम रहती है। साथ ही गलन शीघ्रातिशीघ्र करने का प्रयत्न किया जाता है, जिससे क्षेप्य कम से कम समय तक फर्नेस गैसों के संपर्क में रहे।

गंधक कुंभ में संभवतः मैंगनीज और लोह सल्फाइड और मल में कैलसियम सल्फाइड और सल्फेट के रूप में विद्यमान रहता है। गंधक की कितनी मात्रा किस रूप में रहती है, इसका पता लगाने की अभी तक कोई रीति

उपलब्ध नहीं है। अतः गंधकहरण के विन्यास के विषय में निश्चित रूप से कुछ नहीं कहा जा सकता। इतना अवश्य ज्ञात है कि क्षारीय मलों में गंधकहरण की क्षमता रहती है। उच्च ताप पर क्षारीय मलों में विद्यमान गंधक का अनुपात बढ़ जाता है, परन्तु शायद ही कभी धातु का ५०% गंधक इस प्रकार निष्कासित किया जा सके।

चून क्वथन

चून पत्थर के निस्तापन से CaO और CO_2 प्राप्त होते हैं। CO_2 की प्रकृति आक्सीकारक होने के कारण कुंभ में लोह और अन्य तत्त्वों का आक्सीकरण होता है। इस प्रकार प्रक्रियाओं से जो CO बनती है वह कुंभ में से निकलते समय विलोड़न करती है, जिससे कुंभ की तापित होने की गति बढ़ जाती है। CaO उठकर मल से लोह और मैंगनीज़ आक्साइडों का विस्थापन और निःस्फुरण करता है तथा मल को क्षारीय बनाकर उसे गंधकहरण के योग्य बनाता है।

$$CaCO_3 = CaO + CO_2$$
$$CO_2 + Fe = FeO + CO$$
$$C + CO_2 = 2CO$$
$$SiO_2 + {}_2CaO = 2CaO \cdot SiO_2$$
$$Fe_3(PO_4)_2 + 3CaO = Ca_3(PO_4)_2 + 3FeO$$

मल का नियंत्रण

उपर्युक्त विवेचन से यह स्पष्ट है कि निःस्फुरण की सफलता के लिए सभी सिलिका को निराकरित कर अतिरिक्त चूना आवश्यक है। प्रत्यक्ष कार्यन दत्तों से यह विदित होता है कि चूना तथा सिलिका का अनुपात कम से कम २:१ होना चाहिए, तभी निःस्फुरण सफलतापूर्वक होता है। चार्ज में पिग लोह और इसीलिए सिलिकन की भी मात्रा अधिक होने पर मल आवरण (जो ताप का सुचालक नहीं होता) की मोटाई बढ़

जाती है, जिसके कारण कुंभ को तापित करने में फर्नेस की छत अति ऊष्मित होकर जल जाती है। इस कारण ऐसे चार्जों में गलित पिग लोह डालने के कुछ देर बाद और चून क्वथन प्रारंभ होने के पहले, प्रथम मल को फर्नेस से उद्भावित कर दिया जाता है। इस प्रकार फर्नेस में बहुत कम सिलिका बच रहती है और साथ ही फास्फोरस की भी काफी मात्रा बाहर निकल जाती है। बची हुई सिलिका को निराकरित करने के लिए कम चूने की आवश्यकता रह जाती है, मल की मात्रा घट जाती है और ईंधन की खपत कम हो जाती है। प्रथम मल के साथ लोह और मैंगनीज आक्साइडों की अधिक मात्रा निकल जाने के कारण कार्बन के आक्सीकरण को गति बढ़ाने के लिए फर्नेस में ओर डालना पड़ता है। मल उद्भावित करते समय उसके यथोचित ताप, तरलता और कुंभ के प्रक्षोभ को ध्यान में रखना आवश्यक है, नहीं तो मल के साथ धातुकोय कणों की अधिक मात्रा की हानि हो जायगी।

कार्यन काल—इस काल में धातु में बचे फास्फोरस को आक्सीकृत और चूने द्वारा निराकरित कर मल में भेजा जाता है, कार्बन की मात्रा समंजित की जाती है और कुंभ का ताप इस्पात-समापन और त्रोटन के योग्य बनाया जाता है। कार्बन और फास्फोरस को आक्सीकृत करने के लिए कुंभ में विलयित आक्सीजन और फास्फोरस आक्साइड का निराकरण चूना द्वारा ही करना आवश्यक है। कार्बन आक्सीकरण की गति और कुंभ के ताप की वृद्धि में सामंजस्य महत्त्वपूर्ण है, कारण कि कार्बन के निष्कासन के साथ धातु का गलनांक ऊपर उठता जाता है। मल की क्षारीयता और आक्सीकरण शक्ति का समुचित नियमन कर ही विभिन्न श्रेणियों इस्पातों का भली प्रकार उत्पादन किया जा सकता है। धातु की शोधन क्रियाओं का नियंत्रण मल द्वारा होने के कारण उसके ताप, प्रकृति एवं भौतिक और रासायनिक गुणों को सतर्कतापूर्वक समंजित किया जाना चाहिए। मल के गुणों और समास को बदलने के लिए ओर, चूना, चून पत्थर, रेत, फ्लोरस्पार, स्केल इत्यादि पदार्थ प्रयुक्त होते हैं, परन्तु इनका कम उपयोग

कर धातु को उचित दशा में रखना द्रावक की निपुणता का परिचायक है। इन पदार्थों की अधिक मात्रा का उपयोग करने से मल का आयतन बढ़ जाता है, ईंधन की खपत बढ़ जाती है और कार्यन अवधि लंबी हो जाती है। फर्नेस में धातु और मल की दशा का सही ज्ञान करने के लिए समय-समय पर परीक्षण और रासायनिक विश्लेषण किये जाते हैं। विधि में समुचित नियंत्रण के लिए कच्चे पदार्थों का रासायनिक विश्लेषण किया जाना चाहिए।

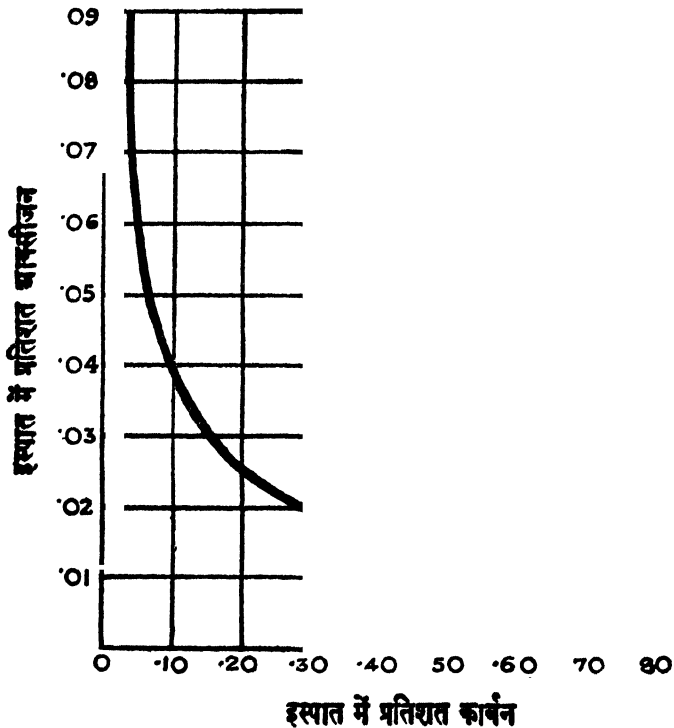
समाप्ति-काल—इस काल में फर्नेस में विद्यमान धातु के ताप और रासायनिक समास को अंतिम रूप से समंजित किया जाता है। साथ ही त्रोटन के समय लेडिल में लोह मेल डालकर धातु का अनाक्सीकरण और पुनःकार्बनन किया जाता है तथा इष्ट मेलोय तत्त्वों का समावेश कराया जाता है। इस्पातों के समास भिन्न-भिन्न होने के कारण समाप्ति काल में प्रयुक्त प्रविधियों में बहुत अंतर रहता है। सामान्यतः इस काल के पूर्व कार्बन के सिवाय, मैंगनीज इत्यादि का आक्सीकरण समाप्त हो चुकता है और गंधक तथा फास्फोरस उपयुक्त समासवाले मल में प्रविष्ट होकर स्थायी हो जाते हैं, जिससे उनके धातु में पुनः प्रवेश का भय नहीं रहता। कार्बन का आक्सीकरण करने के लिए ओर का अंतिम चार्ज डाल दिया जाता है और ताप का नियंत्रण ईंधन को दहन गति को घटा-बढ़ाकर किया जाता है। इस्पात में विद्यमान कार्बन और आक्सोजन का संबंध चित्र ४९ में दिखाया गया है।

मल का महत्त्व और परीक्षण

फर्नेस में इस्पात की प्रकृति मल की दशा पर निर्भर रहती है। विधि में निःस्फुरण करने के लिए क्षारीयता, तरलता और विलोड़न आवश्यक हैं। धातु का शोधन और रासायनिक नियंत्रण मल का समुचित समंजन कर किया जाता है। मल का नियंत्रण निम्नलिखित उद्देश्यों से किया जाता है।

(१) अधिक चूने का उपयोग और लोह का अति आक्सीकरण किये बिना धातु से फास्फोरस का संतोषजनक निष्कासन।

(२) चूना और अन्य अनाक्सीकरों की खपत में यथासंभव कमी।

(३) फर्नेस में प्रभरित कच्चे पदार्थों की मात्रा घटाकर कार्यन अवधि में कमी।

चित्र ४९—इस्पात में विद्यमान कार्बन और आक्सीजन का संबंध

(४) आक्सीकरण की प्रबलता का नियंत्रण, जिससे अनाक्सीकारक पदार्थों में कमी के फलस्वरूप इस्पात में अधातुकीय अंतर्भृत कम हों।

मल का नियंत्रण करने के लिए अनेक परीक्षण-रीतियाँ उपयोग में लायी जाती हैं। इन रीतियों में नियंत्रण की पूर्णता न होने पर भी फर्नेस के कार्यन में उपयोगी निर्देश मिलते हैं —

(१) **दृष्टि परीक्षा**—लगभग दो दशक पूर्व तक विवृत तंदूर मलों का नियंत्रण करने की केवल यही रीति प्रचलित थी। वर्षों के अवलोकन और अनुभव के पश्चात् द्रावक[1] मल या इस्पात के भंग का अवलोकन कर फर्नेस में मल की दशा तथा धातु में विद्यमान कार्बन प्रतिशत का निर्णय कर लेता था। यह रीति संतोषजनक नहीं मानी जा सकती, कारण कि इस पर आधारित इस्पात के कई तापन बिगड़ जाते हैं या श्रेणि पृथक् हो जाते हैं।

(२) **द्रुत रासायनिक विश्लेषण**—वर्तमान काल में विकसित विधियों की सहायता से कार्बन का विश्लेषण ३ से ५ मिनट में, मैंगनीज का विश्लेषण १० से १५ मिनट में, लोह आक्साइड, गंधक और फास्फोरस की मात्रा का २० से ३० मिनट में तथा सिलिकन का विश्लेषण ३० से ४० मिनट में सुतथ्यता से किया जाता है। इन विधियों में नये उपकरणों का उपयोग और प्रयुति रीतियों[2] का विकास विशेष उल्लेखनीय है।

(३) **फर्नेस में मल का स्वरूप**—गलन काल में फर्नेस में मल का स्वरूप उसके रासायनिक समास और आवश्यकताओं का निर्देशक है। उच्च सिलिकावाले मल पतले होते हैं और इनकी लोह आक्साइड प्रतिशतता कम होती है। कम सिलिकावाला मल श्यान और गाढ़ा होता है, जिसे मिल स्केल, रेत या फ्लोरस्पार डालकर समंजित किया जाता है।

(४) **मल का रंग**—जल से ठंडा किये गये मल का रंग उसके समास का अच्छा द्योतक होता है। श्याम मलों में लोह आक्साइड की मात्रा मध्यम और

१. Melter २. Micro methods

चूना-सिलिका का अनुपात कम होता है। चाकलेट बभ्रु रंगवाले मल में लोह आक्साइड की मात्रा मध्यम और चूना-सिलिका का अनुपात अधिक होता है। मलों के रंगों के आधार पर उनकी प्रकृति का अनुमान सुविधा-जनक है (सारणी संख्या ८)। इसे अधिक विश्वसनीय बनाने के लिए मल सृपों[१] का सूक्ष्मदर्शीय परीक्षण किया जाता है।

सारणी संख्या ८

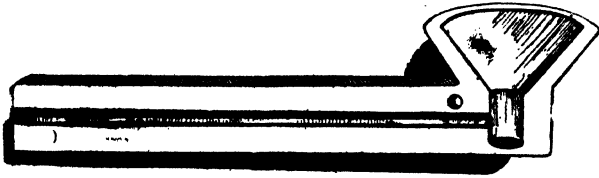
धातुमलके रंग से उसके समास की पहचान

रंग	FeO का परिमाण	CaO SiO$_2$ का अनुपात
काला	मध्यम	निम्न
धूसर	निम्न	निम्न
हलका बभ्रु	मध्यम	मध्यम
गाढ़ा बभ्रु	मध्यम	उच्च
चाकलेट बभ्रु	उच्च	उच्च

(५) **मल पिंड**—मल को प्रतिमानित[२] मोल्ड में डालकर उसकी सतह पर होनेवाले प्रभावों और परिवर्तनों का अवलोकन किया जाता है। निर्बल क्षारीय मल की सतह वलित[३] होती है। क्षारीयता की वृद्धि से सतह की चमक और चिकनापन बढ़ता जाता है। उच्च मैंगनीज आक्साइड और फास्फोरस के कारण सतह पर पड़नेवाले अंकनों का निरीक्षण कर इन तत्त्वों के निष्कासन संबंधी उपयोगी सूचना मिलती है। कच्चे

१. Slides
२. Standardised
३. Wrinkled

पदार्थों की रासायनिक चरता और द्रावकों को एकक अवलोकनके अंतिम निर्णय पर व्यापक असर होने के कारण एक संयन्त्र के निष्कर्ष दूसरे संयन्त्रों में प्रयुक्त नहीं किये जा सकते।

(६) **मल की श्यानता**—मल की श्यानता, फर्नेस में उसकी दशा और प्रवृत्ति के विषय में उपयोगी सूचना देती है। प्रारंभ में अभिनत[1] शीतल पट्ट पर मल गिराकर उसकी प्रवाह लंबाई पर से श्यानता का अंदाज किया जाता था। वर्तमान श्यानता-मापी चित्र ५० में दिखाया गया है। मल

चित्र ५०—हार्टो श्यानता-मापी

के प्रवाह की दूरी नापकर मल की तरलता का अनुमान किया जाता है। रासायनिक समास के अतिरिक्त, मल का ताप भी उसकी तरलता को प्रभावित करता है।

उपर्युक्त रीतियों की सहायता से मल की दशा के संबंध में निष्कर्ष निकाल कर द्रावक इस्पात के गुणों और प्रवृत्ति का नियंत्रण करते हैं। इस्पात कर्मकों[2] में सामान्यतः कहा जाता है कि फर्नेस में अच्छे मल का उत्पादन ही श्रेष्ठ इस्पात का उत्पादन है। इस प्रचलित कहावत से मल के नियंत्रण का महत्त्व स्पष्ट है।

आक्सीजन का उपयोग

अधिक मात्रा में सस्ती आक्सीजन की उपलब्धि के कारण गलन काल

१. Inclined २. Works

में धातु के द्रुत द्रावण के लिए आक्सीजन समृद्ध ज्वाला का उपयोग किया जाता है। वायु में अक्रिय नाइट्रोजन गैस की प्रतिशतता कम होने से संवेद्य ऊष्मा की हानि कम हो जाती है और फर्नेस में दहन और आक्सीकरण की तीव्रता बढ़ जाने से धातु का द्रवण शीघ्रता से होता है। इस प्रकार ईंधन की बचत और उत्पादन गति में बढ़ती होती है। ज्वाला संवर्धन में प्रति टन इस्पात के लिए लगभग १६० घनफुट आक्सीजन की आवश्यकता पड़ती है।

कुंभ में कार्बन के आक्सीकरण की गति बढ़ाने के लिए आक्सीजन की खेप डालते हैं। कार्बन की मात्रा ०·४% से अधिक होने पर प्रक्रिया अत्यन्त प्रबल होने के कारण मल और धातु उड़ते हैं जिससे फर्नेस के अग्निरोधक अस्तर का संक्षय और फर्नेस पर काम करनेवालों का कष्ट बढ़ जाता है। इस कारण आक्सीजन का उपयोग कम कार्बनवाले इस्पातों के उत्पादन में ही किया जाता है। कुंभ में कार्बन की मात्रा कम होने पर उसके आक्सीकरण की गति बहुत शिथिल हो जाती है। आक्सीजन क्षेपण द्वारा उत्पादन गति दुगुनी से तिगुनी तक हो जाती है। साथ ही प्रत्यक्ष आक्सीकरण के फलस्वरूप उत्पादित ताप के कारण ईंधन की बचत होती है। कम कार्बन इस्पातों के उत्पादन में आक्सीजन का उपयोग लगभग सर्वत्र होने लगा है।

अध्याय ११

विद्युत विधियाँ

गलन और शोधन के लिए अनेक प्रकार की विद्युतीय फर्नेसें समय-समय पर प्रस्तावित की गयीं, परन्तु इनमें से निम्नलिखित दो फर्नेसें अधिक सफल और लोकप्रिय हुई हैं—

(१) **विद्युत चाप फर्नेस**—सर्वप्रथम हेरोल्ट द्वारा प्रस्तावित प्रत्यक्ष विद्युत चाप फर्नेस इस्पात उत्पादन में अधिक लोकप्रिय हुई है। वर्तमान समय में क्षेप्य का उपयोग कर अच्छे इस्पातों का उत्पादन करने के लिए यह विधि बहुत सफल रही है। अनेक प्रकार के विशिष्ट कार्बन टूल इस्पात, मेल इस्पात, हवाई इस्पात, ताप-रोधक इस्पात इत्यादि का उत्पादन हेरोल्ट विद्युत चाप फर्नेसों में किया जाता है।

(२) **विद्युत प्रेरक फर्नेस**—विद्युतीय प्रेरण सिद्धान्त का उपयोग कर इस्पात को गलाने की यह विधि उच्च अर्हता वाले और विशिष्ट इस्पातों के लिए उत्तरोत्तर लोकप्रिय होती जा रही है। गत दस वर्षों में प्रेरक फर्नेसों का विकास, विस्तार और धारिता बहुत बढ़ गयी है। इस विधि में इस्पात का शोधन नहीं होता, जिसके कारण प्रभार के चुनाव में बहुत सावधानी रखना आवश्यक है। क्षारीय विद्युत चाप फर्नेस में उययुक्त मल बनाकर और वातावरण रखकर अवांछनीय अशुद्धियों को अलग किया जाता है। विद्युत प्रेरक फर्नेस सामान्यतः गलन-कार्य के लिए ही व्यवहृत होती है।

विद्युत विधियों के लाभ

१. विद्युत फर्नेसों द्वारा इस्पात उत्पादन करने में अनेक स्पष्ट लाभ हैं—

विद्युत आदा[1] पर नियन्त्रण कर विधि में उत्पादित ताप पर पूर्ण और सफल नियन्त्रण संभव है। साथ ही अन्य विधियों की तुलना में विद्युत फर्नेसों में अधिक उच्च ताप प्राप्त किया जा सकता है।

(२) विद्युत आदर्श ईंधन मानी जा सकती है। सभी प्रकार की अशुद्धियों से धातु का बचाव होता है, जो अन्य ईंधनों के साथ संभव नहीं है।

(३) फर्नेस के भीतर आक्सीकारक, तटस्थ अथवा अपचायक वातावरण इच्छानुसार रखा जा सकता है। इस प्रकार धातु का पूर्ण अनाक्सीकरण फर्नेस में करना संभव रहता है। मेलीय तत्वों को फर्नेस में डालने से उनकी अधिक मात्रा आक्सीकृत होकर नष्ट नहीं होती। मेल इस्पातों के उत्पादन में यह बहुत महत्त्वपूर्ण है।

(४) क्षारीय विद्युत चाप विधि में फास्फोरस और गंधक का निष्कासन सफलतापूर्वक किया जा सकता है। समापित इस्पात में विलयित गैसों और अधातुकीय अन्तर्भूतों की मात्रा भी अन्य विधियों की तुलना में कम रहती है।

(५) विवृत तंदूर विधियों की तुलना में विद्युत फर्नेस अधिक आनम्य[2] होती है। उसका कार्यन गरम धातु या शीतल चार्ज से किया जा सकता है।

(६) विद्युत फर्नेस की निष्पत्ति[3] अन्य सभी लोह और इस्पात का उत्पादन करनेवाली फर्नेसों से अधिक होती है। प्रवात फर्नेस की संपूर्ण निष्पत्ति ६५ प्रतिशत, क्षारीय तंदूर फर्नेस की १० प्रतिशत और विद्युत फर्नेस की ७४ से ७७ प्रतिशत होती है।

१. Input
२. Flexible
३. Efficiency

(७) विद्युत फर्नेसों में विद्युदग्रों की दूरी अथवा वोल्टता को बदलकर ताप का सरलतापूर्वक नियन्त्रण किया जा सकता है।

(८) धातु का ताप अधिक समय तक लगभग अचर (कांस्टैण्ट) रखा जा सकता है।

(९) ताप का उद्‌भव स्थानीय होता है और जब और जहाँ आवश्यक हो किया जा सकता है।

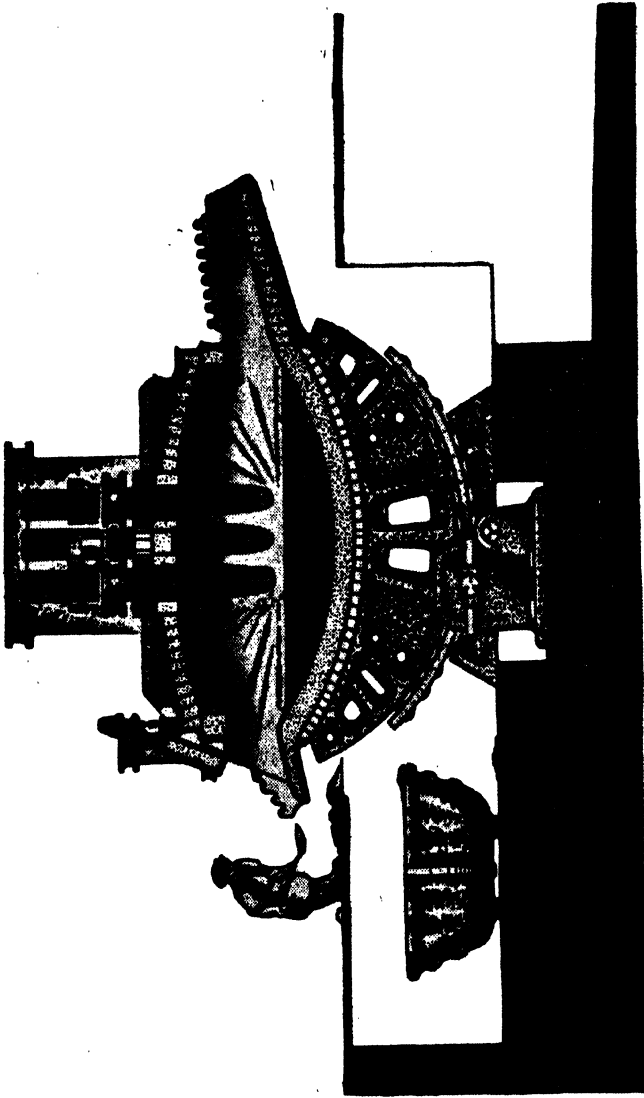
(१०) विद्युत फर्नेसों में दहन उत्पाद न रहने के कारण, फर्नेस का वातावरण इच्छानुसार रखा जा सकता है और फर्नेस की निष्पत्ति अच्छी रहती है। अन्य विधियों में दहन उत्पाद उनकी निष्पत्ति को बहुत घटा देते हैं।

(११) विद्युत फर्नेसों द्वारा एक समान गुणवाले इस्पातों के तापन बनाये जा सकते हैं। बैसेमर अथवा तंदूर विधियों द्वारा बिलकुल समान गुणवाले तापनों का उत्पादन कठिन और अनिश्चित रहता है।

उपर्युक्त लाभों के कारण विद्युत विधियों का विकास और विस्तार शीघ्रता से हो रहा है और इनका भविष्य अत्यन्त उज्ज्वल दिखाई पड़ता है। जहाँ कहीं सस्ती विद्युत शक्ति उपलब्ध होती है, इन विधियों द्वारा इस्पात का उत्पादन लाभदायक रहता है। विशेषतः संधानी में और विशिष्ट अर्हता वाले इस्पातों के उत्पादन के लिए विद्युत विधियाँ बेजोड़ हैं।

विद्युत विधियों की कमियाँ

(१) विद्युत शक्ति का मूल्य कार्बन के दहन की तुलना में ६ से १० गुना अधिक होता है। अतः विद्युत फर्नेसों द्वारा इस्पात का उत्पादन अन्य विधियों की तुलना में महँगा पड़ता है। विशेष इस्पातों का उत्पादन कर इसे निभाया जा सकता है।

(२) कुछ वर्ष पूर्व तक विद्युत फर्नेसों की धारिता २५ टन से अधिक नहीं थी, परन्तु अब १०० टन धारितावाली फर्नेसों का निर्माण किया गया है। बड़ी विद्युत फर्नेसों में प्ररचना संबंधी अनेक जटिल समस्याएँ उठ खड़ी होती हैं।

चित्र (५१ क) —विद्युत चाप फरनेस का खण्ड

विद्युत चाप फर्नेस

सभी प्रकार की विद्युत चाप फर्नेसों की तुलना में हेरोल्ट फर्नेस के अधिक सफल होने के निम्नलिखित कारण हैं—

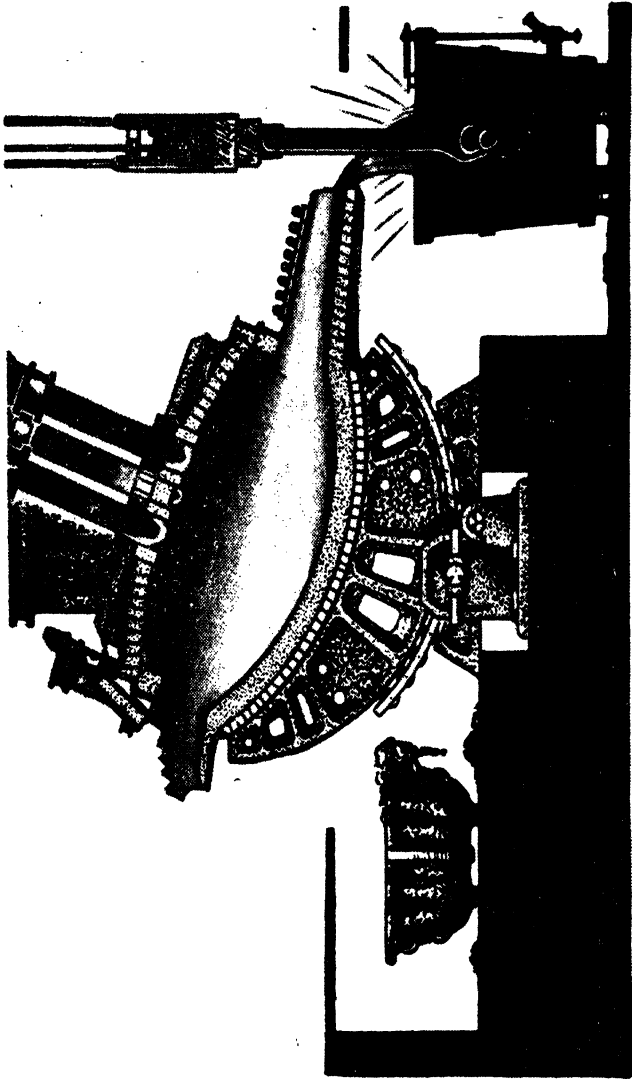
(१) इस फर्नेस में विद्युत चाप कायम रखने की प्रणाली के फलस्वरूप फर्नेस की निष्पत्ति सर्वाधिक रहती है।

(२) अन्य चाप-फर्नेसों की तुलना में इसकी बनावट और फर्नेस में विद्युदग्रों के प्रवेश की रीति सरल और सुविधाजनक है।

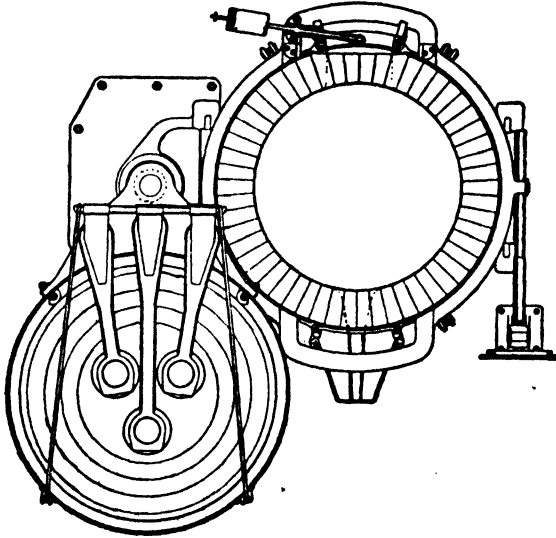
(३) यह फर्नेस भिन्न-भिन्न प्रकार की वृत्तियों को सुलभता से निभा सकती है।

फर्नेस की बनावट

चित्र ५१ क में विद्युत चाप फर्नेस का खंड उसके अन्य उपकरणों के साथ दिखाया गया है। फर्नेस का अनुप्रस्थ खंड गोलाकार इस्पात कर्पर का बनाया जाता है, जिसमें अन्दर उच्च कोटि का अग्निरोधक अस्तर लगा रहता है। फर्नेस की छत चापरूप रहती है। बड़ी फर्नेसों में क्षेप्य के प्रभरण के लिए छत को हटाया जा सकता है। छोटी फर्नेसों में यह प्रभरण पार्श्व में स्थित द्वार से किया जाता है। सभी फर्नेसों में तापन के कार्यन के लिए पार्श्व में द्वार और उसके सामने दूसरी ओर त्रोटन ओष्ठ रहता है। फर्नेस जिस मंचक पर आश्रित रहती है उसे झुकाया जा सकता है। फर्नेस को झुकानेवाले उपकरण उसके नीचे स्थित रहते हैं, जैसा खण्ड चित्र ५१ ख में दिखाया गया है।

व्यावसायिक विद्युत चाप फर्नेसों की अनेक भिन्न परिमाएँ रहती हैं और उनकी धातु-धारिता १, ३, ६, १५, २५, ४० और १०० टन तक रहती है। १०० टन धारितावाली फर्नेस के अलावा अन्य सभी फर्नेसों में तीन विद्युदग्र रहते हैं। १०० टन धारितावाली फर्नेस का तंदूर क्षेत्रफल अधिक होने के कारण विद्युदग्रों की आवश्यकता होती है। विद्युदग्र ग्रेफाइट या अकेलास कार्बन के बनते हैं। ये फर्नेस की छत में इस प्रकार प्रवेश करते

चित्र ५९ ख—चाप फर्नेस (नमय रूप में)

हैं कि सम त्रिभुज के तीन शीर्षों पर स्थित रहें (चित्र ५२)। विद्युदग्रों का व्यास सामान्यतः ६ से २४ इंच और लम्बाई ६ फुट रहती है। उनके दोनों सिरों पर चूड़ियाँ बनी रहती हैं जिससे चूड़ीवाले चूचुक की सहायता से उन्हें एक दूसरे में कसा जा सकता है। इस प्रकार विद्युदग्र का प्रदाय[1] निरं-

चित्र ५२—चाप फर्नेस में विद्युदग्रों की स्थिति

तर बना रहता है। फर्नेस में ऊष्मा का उत्पादन कुंभ से विद्युदग्रों की दूरी पर निर्भर रहता है। इस कारण यह दूरी निश्चित कर ली जाती है जिससे विधि में विद्युदग्रों और कुंभ में यह दूरी स्वयमेव बनी रहती है। विन्च विन्यास[2] की सहायता से विद्युदग्र उनकी खपत के अनुरूप नीचे होते रहते

१. Feed   २. Winch arrangement

हैं। विद्युदग्रों का फर्नेस में प्रवेश स्थान जल शीतलित कालरों से घिरा रखा जाता है।

फर्नेस का तंदूर उत्तम अग्निरोधकों का बनाया जाता है। अम्लीय विद्युत चाप फर्नेसों का सम्पूर्ण अस्तर सिलिका ईंटों का बनाया जाता है, जिनके पीछे फायर क्ले ईंटों का आधार रहता है। तंदूर की सिलिका ईंटों पर विद्युत चापों की सहायता से सिलिका बालू को गलाकर भली प्रकार मढ़ दिया जाता है। क्षारीय फर्नेसों का तंदूर मेगनेसाइट ईंटों पर विद्युत चापों की सहायता से मेगनेसाइट चूर्ण गलाकर और मढ़कर बनाया जाता है। मल रेखा के ऊपर की दीवारें और छत श्रेष्ठ सिलिका ईंटों की बनायी जाती हैं (चित्र ५३)।

फर्नेस में तीनों विद्युदग्र छत में से प्रविष्ट होकर मल सतह से १–२ इंच दूर आते हैं। फर्नेस में त्रिकला प्रत्यावर्ती धारा[१] का उपयोग किया जाता है। विद्युत चाप प्रत्येक विद्युदग्र और कुंभ में जगाया (बनाया) जाता है। विद्युदग्र इतनी दूर रखे जाते हैं कि उनके बीच में कोई चाप न जग सके। विद्युत धारा विद्युदग्र क में प्रवेश कर चाप बनाती हुई मल में जाती है। मल का विद्युतीय रोध अधिक होने के कारण ऊष्मा का उत्पादन होता है। मल से धातु में बहकर धारा विद्युदग्र ख के नीचे आकर पुनः विद्युत चाप बनाती है। इस प्रकार विधि में लगभग सभी ऊष्मा का उद्भव मल और विद्युदग्रों के बीच जगे विद्युत चापों से होता है। धातु के ऊपर मल की परत चाप के अति ताप से धातु की रक्षा करती है। विद्युत चापों के निकट का ताप अत्यधिक होता है, जिसके कारण कार्बन विद्युदग्रों के कण वाष्पित होकर धारा को चालित करते हैं। इतना उच्च ताप विद्युदग्रों के निचले छोरों के निकटवाले वायुस्थानों में ही होता है। कार्बन ३५००° से० से अधिक ताप पर वाष्पित होता है।

१. Three phase alternating current

अम्लीय विद्युत चाप विधि

विद्युत शक्ति सुलभ और सस्ती होने पर उच्च अर्हतावाले आयुध और मेलीय इस्पातों का उत्पादन अम्लीय विद्युत चाप विधि द्वारा किया जाता है। संधानी में संवपनों[1] के उत्पादन के लिए अम्लीय विद्युत फर्नेसों का उपयोग हाल के वर्षों में अधिक बढ़ गया है। इस विधि की धातुकी[2] मूलतः अम्लीय तंदूर विधि के समान ही है। गंधक और फास्फोरस का निष्कासन न होने के कारण चार्ज का प्रभार विशेष सावधानी से किया जाना चाहिए, जिससे इन तत्त्वों में प्रत्येक की मात्रा ०.०४ प्रतिशत से कम हो। विद्युत विधियों में अधिक पिग लोह प्रभार में शामिल नहीं किया जाता, अन्यथा कार्य-अवधि अधिक बढ़ जाने के कारण उत्पादन-व्यय बहुत अधिक हो जाता है। यही कारण है कि इन फर्नेसों का अधिकांश प्रभार इस्पात क्षेप्य रखा जाता है। अम्लीय विधि में क्षेप्य का चुनाव सतर्कता से किया जाना चाहिए।

बैसेमर और विवृत तंदूर विधियों की तुलना में विद्युत चाप विधियों का उत्पादन व्यय अधिक होता है। अतः उच्च अर्हतावाले इस्पातों के उत्पादन में ही इनका उपयोग लाभदायक हो सकता है। अम्लीय विद्युत चाप विधि में आक्सीकारक गैसों और मल का प्रभाव अम्लीय तंदूर विधि की अपेक्षा बहुत कम किया जा सकता है, जिससे इस्पात का अनाक्सीकरण अधिक अच्छा होता है। अनाक्सीकरण अवधि के अंत में मेलीय तत्त्व फर्नेस में डाले जाते हैं। आक्सीकरण से उनकी अधिक मात्रा की हानि नहीं होती और अधातुकीय अन्तर्भूत सरलता से ऊपर उठकर मल में मिल जाते हैं।

विधि का प्रकार्य और रसायन

फर्नेस में इस्पात क्षेप्य का प्रभरण इस प्रकार किया जाता है कि प्रभरित

१. Casting   २. Metallurgy

क्षेप्य का उच्चतम बिन्दु फर्नेस के मध्य में हो। क्षेप्य का चुनाव इस प्रकार किया जाना चाहिए जिससे गलन के बाद कुंभ में कार्बन की मात्रा समापित इस्पात में कार्बन की इष्ट मात्रा से लगभग ०.०५ प्रतिशत अधिक रहे। कुंभ में कार्बन की मात्रा जितनी अधिक रहेगी, शोधन और कार्यन-अवधि उतनी ही बढ़ जायेगी। शोधन-काल में चार्ज (प्रभार) द्रवित होकर एकरस हो जाता है और सिलिकन, मैंगनीज इत्यादि के आक्सीकरण से प्राप्त और क्षेप्य के साथ रेत तथा अन्य अशुद्धियों के रूप में विद्यमान अधातुकीय अन्तर्भूत मल में मिल जाते हैं।

गलन काल में क्षेप्य में विद्यमान मोर्चा, स्केल और चार्ज के आक्सीकरण से प्राप्त FeO द्वारा सिलिकन, मैंगनीज और कार्बन का आक्सीकरण होता है। गलन पहले विद्युदग्रों के नीचे होता है। गलन समाप्त होने पर कुंभ में प्रारंभिक कार्बन प्रतिशत देखकर लोह और डाला जाता है, जिससे कार्बन की इष्ट मात्रा प्राप्त हो सके। मल में FeO को मात्रा कम करने के उद्देश्य से थोड़ा चून पत्थर डाला जाता है। यह FeO को प्रतिस्थापित कर देता है जो धातु में जाकर कार्बन के आक्सीकरण को गति को बढ़ाता है। कुंभ में कार्बन के आक्सीकरण के साथ-साथ मल में FeO की मात्रा कम होती जाती है। समय-समय पर इस्पात के भंग और मल की प्रकृति देखकर कुंभ में कार्बन और मल में FeO की प्रतिशतता का अनुमान लगाया जाता है। शोधन काल में कार्बन के निष्कासन के साथ अधातुकीय अन्तर्भूतों को धातु से निकलकर मल में मिलने का अवसर और समय देना बहुत आवश्यक है।

शोधन-काल फर्नेस-प्रकार्य[१] और विधि की सफलता के लिए सर्वाधिक महत्त्वपूर्ण है। अनेक निलंबित छोटे आक्साइड कणों का द्रवणांक कुंभ के ताप से अधिक होता है। अतः इनकी धातु से बाहर उठने की गति बहुत

१. Working

धीमी होती है। यदि उचित समय न देकर शीघ्रता से कार्बन का इच्छित आक्सीकरण समाप्त कर लिया जाय, तो ये छोटे आक्साइड कण इस्पात में ही रह जाते हैं और उसकी अर्हता को घटा देते हैं। मल की प्रकृति अति अम्लीय होने पर वह बहुत श्यान हो जाता है जिससे ये आक्साइड कण सरलता से मल में प्रविष्ट नहीं हो पाते। विधि में इन दोनों पहलुओं पर उचित ध्यान दिया जाना चाहिए। शोधन-काल के अंत में अधिकांश अन्तर्भूत से धातु मुक्त हो जाती है और मल में लोह आक्साइड प्रतिशतता निम्नतम हो जाती है। इस अवस्था को कुंभ का उपाधीयन' कहते हैं।

कुंभ का उपाधीयन होने पर मल के SiO_2 का अपचयन[1] होकर धातु की सिलिकन प्रतिशतता बढ़ने लगती है। यदि यह अधिक समय तक होने दिया जाय तो इस्पात की तरलता कम हो जाती है। अच्छे संवपनों के उत्पादन के लिए यह अवांछनीय है। धातु की समुचित तरलता का अनुमान स्रुव परीक्षण द्वारा किया जाता है। सिलिकन के अति अपचयन का प्रभाव कुंभ या मल में FeO डालकर कम किया जाता है।

कार्बन की इष्ट मात्रा आने, अधातुकीय अन्तर्भूतों से धातु की मुक्ति और अपचयित सिलिकन द्वारा FeO में समुचित कमी होने पर कुंभ का अनाक्सीकरण किया जाता है। यह सदैव फर्नेस में ही किया जाता है। यदि विधि में सभी प्रकार्य ठीक प्रकार से किये गये हों तो समाप्ति के समय कुंभ में कार्बन के आक्सीकरण से क्वथन अति मन्द होता है, उसकी गति सम रहती है। इस समय कुंभ में अवशिष्ट FeO की समाप्ति के लिए कम सिलिकन और उच्च कार्बनवाला लोह डाला जाता है। इससे क्वथन की गति बढ़ जाती है और कुंभ के विलोडन से अन्तर्भूतों के ऊपर उठने में सुविधा होती है। इसके बाद अनाक्सीकरण को पूर्ण करने के लिए लोह मैंगनीज और लोह सिलिकन डाले जाते हैं। अधिकांश FeO का

१. Reduction

विलगन पहले कार्बनयुक्त लोह के साथ प्रक्रिया के बाद करने से धातु में अधातुकीय कणों की मात्रा नहीं बढ़ती। यदि लोह सिलिकन पहले डाला जाय तो सिलिका के कणों से सारी धातु लद जायगी। अंत में लोह मैंगनीज और लोह सिलिकन साथ-साथ डाले जाते हैं, जिससे अनाक्सीकरण पूर्ण हो जाय और सुगलनीय मैंगनीज सिलिकेट बनकर शीघ्रता से ऊपर उठकर मल में मिल जाय। कभी-कभी अन्य अनाक्सीकारक पदार्थों का भी उपयोग किया जाता है। उचित रासायनिक समास और ताप-वाली धातु को भली प्रकार अनाक्सीकृत कर लेडिल में त्रोटित किया जाता है। त्रोटन में फर्नेस को झुकाकर मल को लेडिल में आने से रोका जाता है।

क्षारीय विद्युत चाप विधि

विद्युत विधियों द्वारा उत्पादित अधिकांश इस्पात का उत्पादन क्षारीय विधि द्वारा किया जाता है। इस विधि में क्षारीय मल बनाकर आक्सीकारक वातावरण में निःस्फुरण और अपचायक वातावरण में गंधकहरण सफलतापूर्वक किया जाता है। क्षारीय तंदूर फर्नेस में ईंधन के दहन के लिए हवा आवश्यक है, जिससे फर्नेस का वातावरण आक्सीकारक रहता है। इस कारण इस्पात में गंधक की प्रतिशतता कम नहीं की जा सकती। घटिया चार्ज (प्रभार) का उपयोग कर अच्छे इस्पातों का उत्पादन करने के लिए क्षारीय विद्युत चाप विधि सर्वोत्तम है।

क्षारीय विद्युत फर्नेसों का उपयोग मुख्यतः निम्नलिखित दो प्रकारों से होता है—

(१) क्षारीय विवृत तंदूर विधि में शोधित इस्पात विशोधन के लिए विद्युत फर्नेस में कार्यित किया जाता है। इस प्रकार इस्पात का अनाक्सीकरण समुचित रूप में विद्युत फर्नेस में किया जाता है। यह विधि अधिक मात्रा में विद्युत इस्पात का उत्पादन करने के लिए प्रयुक्त होती है।

(२) शीतल इस्पात क्षेप्य का प्रभरण कर स्वतंत्र विधि के रूप में श्रेष्ठ

इस्पातों का उत्पादन करने के लिए क्षारीय फर्नेस बहुत प्रचलित हैं। विद्युत शक्ति कम मूल्य और सुलभता से उपलब्ध होने पर उपयुक्त धारितावाली फर्नेसों की स्थापना करके इस्पात का स्वतंत्र रूप से उत्पादन किया जा सकता है। इसके लिए पिग लोह या अन्य इस्पात उत्पादक फर्नेसों की आवश्यकता नहीं पड़ती।

प्रभरण और गलन

क्षारीय विवृत तंदूर फर्नेस में शोधित इस्पात के विशोधन और शीतल इस्पात क्षेप्य विधि की अंतिम दशा में समानता होने के कारण यहाँ स्वतंत्र विधि का वर्णन किया जायगा। गलन और निःस्फुरण के पश्चात् दोनों विधियों की कार्यप्रणाली लगभग समान हो जाती है। छोटी फर्नेसों में प्रभरण पार्श्व में स्थित द्वार से किया जाता है। आधुनिक बड़ी फर्नेसों की छत अपनेय[1] होती है। उसे हटाकर डलिया द्वारा ऊपर से प्रभरण किया जाता है।

इस्पात क्षेप्य का चुनाव करते समय अनेक बातों पर ध्यान देना आवश्यक है। गलन के बाद कुंभ में फास्फोरस, गंधक और कार्बन की मात्रा बहुत अधिक नहीं होनी चाहिए, अन्यथा शोधन अवधि लंबी होकर, इस्पात का उत्पादन व्यय बढ़ जाता है। यही कारण है कि सामान्यतः चार्ज में पिग लोह का क्षेप्य शामिल नहीं किया जाता। क्षेप्य की भौतिक दशा ताप और विद्युत की चालकता को प्रभावित करती है। फलस्वरूप चार्ज में हलके और भारी क्षेप्य के अनुपात और फर्नेस में उनका वितरण सावधानी से किया जाता है। भारी क्षेप्य का अनुपात अधिक होने पर चापों की अत्यधिक ऊष्मा परावर्तित होकर फर्नेस के अग्निरोधक अस्तर का जीवन कम कर देती है। इसे रोकने के लिए चार्ज के ऊपरी भाग में हलका क्षेप्य रखा जाता

१. Removable

है। विद्युदग्र इसे गलाकर सरलता से अपना मार्ग बना लेते हैं जिससे परा-वर्तन द्वारा अग्निरोधकों की क्षति बहुत कम हो जाती है। द्रावक और अन्य पदार्थ, जैसे चूना, मिल स्केल, फ्लोरस्पार इत्यादि की पर्याप्त शुद्धि आवश्यक है, अन्यथा विधि की कार्य अवधि व्यर्थ में बढ़ जाती है। यह बात सदैव ध्यान में रखनी चाहिए कि विद्युत-जन्य ताप विशेष महँगा रहता है।

प्रभरण समाप्त होने पर द्वार को बंद कर विद्युत धारा संलग्न कर दी जाती है। लगभग २० मिनट में विद्युत चापों की क्रिया से प्रत्येक विद्युदग्र के नीचे गड्ढा सा बन जाता है और उसमें गलित धातु एकत्र होने लगती है। गलन की प्रगति के साथ इन धातु पल्लवों का आकार बढ़ता जाता है। गलन काल में कुछ समय तक विद्युदग्रों का नियंत्रण हाथ से किया जाता है। धातु पल्वल (pool) बनने के बाद इनका नियंत्रण करने के लिए स्वत:चालित विन्यास प्रारम्भ कर देते हैं।

शोधन

यह काल विधि के लिए सर्वाधिक महत्त्वपूर्ण है। इसकी आनम्यता के कारण ही इस्पात-उत्पादन विधियों में क्षारीय विद्युत फर्नेस का स्थान सर्वोपरि है। ईंधन के दहन वाली फर्नेसों में आक्सीकारक वातावरण रखना आवश्यक रहता है, जिससे मल की प्रवृत्ति भी आक्सीकारक होती है। इस विधि में इच्छानुसार आक्सीकारक अथवा अपचायक मल बनाकर फास्फोरस और गंधक का निष्कासन किया जा सकता है। समापित इस्पात को लगभग इसी ताप पर अनिश्चित काल तक फर्नेस में रखकर अधातुकीय अन्तर्भूतों को अलग किया जाता है और इस्पात पूर्णत: अनाक्सीकृत हो जाता है। जब इस्पात में कार्बन की मात्रा ०.०४ प्रतिशत से कम करना हो, तब अपचायक मल के सम्पर्क में धातु को अधिक समय रखने से विद्युदग्रों का कार्बन मल की तह से विसरित होना कठिनाई खड़ा करता है। यह समस्या ०·१ प्रतिशत से अधिक कार्बनवाले इस्पातों का उत्पादन करने में नहीं खड़ी होती। शोधन काल के निम्नलिखित दो उपभाग होते हैं—

(१) आक्सीकरण काल,

(२) अपचयन काल।

आक्सीकरण काल—इस काल में आक्सीकारक मल का उपयोग किया जाता है। इस समय होनेवाली रासायनिक प्रक्रियाएँ मूलतः क्षारीय तंदूर विधि के समान ही होती हैं। चूना, मिल स्केल, सिलिका और फ्लोरस्पार को उचित मात्रा में डालकर तरल, आक्सीकारक क्षारीय मल बनाया जाता है। प्रभार में विद्यमान सिलिकन गलन और आक्सीकरण काल में आक्सीकृत होकर मल में मिल जाता है। फास्फोरस भी आक्सीकृत होकर चूने के साथ युक्त हो मल में आ जाता है। सामान्यतः प्रभार का चुनाव इस प्रकार का होता है कि गलन के बाद कुंभ में कार्बन की मात्रा समुचित रहे। यदि कुंभ में कार्बन की मात्रा अधिक हो तो उसका आक्सीकरण करने के लिए मिल स्केल या लोह ओर प्रभरित किया जाता है। फास्फोरस-युक्त मल को संकिरित कर फर्नेस के बाहर निकाल दिया जाता है। इस प्रकार धातु में फास्फोरस के पुनः प्रवेश की संभावना बिलकुल मिट जाती है। अब क्रोमियम, वेनेडियम, टंग्स्टन, मालिब्डीनम इत्यादि मेलीय धातुओं की आक्साइडें प्रभरित की जा सकती हैं, जिससे अपचयन काल में लघ्वित होकर ये धातुएँ इस्पात में विलयित हो जायँ। मेलीय धातुओं की आक्साइडों का प्रत्यक्ष लघ्वन कर इस प्रकार कीमती लोह मेलों की बचत की जाती है। आक्सीकारक मल का रंग काला होने के कारण इसे 'श्याम मल काल' भी कहते हैं।

अपचयन काल—चूना, बालू, फ्लोरस्पार और कोक चूर्ण डालकर नया अपचायक क्षारीय मल बनाया जाता है। क्षारीय विद्युत फर्नेस की कार्यप्रणाली का यह भाग अन्य सभी इस्पात उत्पादन करनेवाली विधियों से भिन्न है। इस काल में मल में विद्यमान लोह आक्साइड की मात्रा में कमी होने के कारण मल का रंग हलका पड़ने लगता है। चूने और कार्बन के योग से कैलशियम कार्बाइड यौगिक बनता है। यह अपचायक मल का महत्त्वपूर्ण घटक रहता है। इस काल में कुंभ में विद्यमान आक्साइडों का

लघ्वन होता है और धातु में विद्यमान गंधक कैलशियम सल्फाइड (CaS) के रूप में मल में निष्कासित हो जाता है। गंधक का इस प्रकार लगभग संपूर्ण निष्कासन क्षारीय विद्युत चाप विधि की सबसे बड़ी विशेषता है। अपचायक मल का रंग भूरा होने के कारण इसे 'श्वेत मल काल' या 'कार्बाइड मल काल' भी कहते हैं। इस मल को पानी में डालने में एसीटिलीन गैस की गंध आती है। मल की प्रकृति की जाँच करने के लिए द्रावकर्ता यह परीक्षण करते हैं। शोधन काल में दो प्रकार के मलों का उपयोग कर इस्पात में फास्फोरस और गंधक की प्रतिशतता सामान्यतः ०·०३% से कम कर दी जाती है और आवश्यकता होने पर ०.०१% की जा सकती है। गंधकहरण की गति कुंभ में मैंगनीज़ की मात्रा में वृद्धि कर बढ़ायी जा सकती है। मैंगनीज़ सल्फाइड धातु में कम विलेय होने के कारण जल्दी उठकर मल में मिल जाता है।

समाप्ति

उचित गंधकहरण होने के पश्चात् इस्पात के रासायनिक समास और ताप का समंजन किया जाता है। अनाक्सीकरण और पुनःकार्बनन के लिए लोह-मेलों की परिगणित मात्रा डाली जाती है। इसके दो उद्देश्य हैं प्रथम कुंभ में अवशिष्ट आक्सीजन का हरण और दूसरा समापित इस्पात में इष्ट मेलीय तत्त्वों की मात्रा में समुचित वृद्धि। अधातुकीय अन्तर्भूतों को ऊपर उठने के लिए पर्याप्त अवसर और सुविधा इस्पात की अर्हता के लिए आवश्यक है। अंत में त्रोटन के पहले इस्पात का ताप समंजित किया जाता है। इसका निर्णय करने के लिए स्रुव में गलित इस्पात निकालकर उस पर बननेवाले पटल का निरीक्षण किया जाता है अथवा स्रुव से धातु गिराकर उसमें बची करोटी[1] को देखा जाता है।

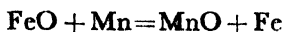
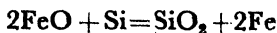
१. Skull

त्रोटन

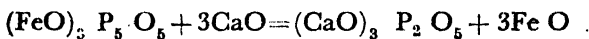
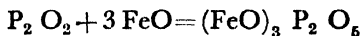
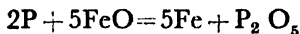
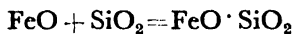
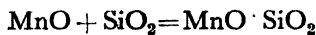
तापन रासायनिक और तापीय दृष्टि से उचित दशा में होने पर फर्नेस को झुकाकर लेडिल में धातु का त्रोटन किया जाता है। इस समय त्रोटन छिद्र को गीले बोरे से भर देते हैं जिससे फर्नेस को त्रोटन के लिए झुकाते समय मल बाहर न निकले। धातु त्रोटन-छिद्र के ऊपर उठकर बोरे को जला देती है और लेडिल में गिरने लगती है। इस प्रकार लेडिल में मल और धातु का मिश्रण रोका जाता है जिससे इस्पात में मल के कण समाविष्ट न होने पायें। इस्पात को लेडिल में गिराते समय घुमावदार गति दी जाती है जिससे उसमें अधिकतम रासायनिक समांगता आ जाय। त्रोटन के समय प्रकाशकीय[1] तापमापी से इस्पात का ताप प्राप्त किया जाता है। इस्पात को लेडिल में कुछ समय तक रहने दिया जाता है जिससे पाशित अन्तर्भूत[2] ऊपर उठ आयें। अब धातु को मोल्डों में प्रपूरित[3] कर इन्गटें (पिण्डक या सिलें) तैयार की जाती हैं।

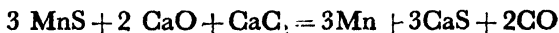
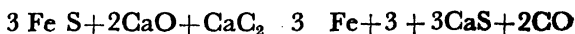
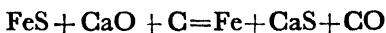
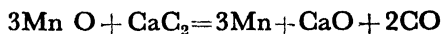
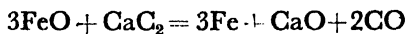
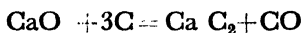
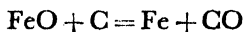
विधि का रसायन

विधि के आक्सीकरण काल में होनेवाली रासायनिक प्रक्रियाएँ क्षारीय विवृत तंदूर विधि के समान होती हैं। गलन और आक्सीकरण काल में सिलिकन, मैंगनीज़, फास्फोरस और कार्बन का आक्सीकरण होता है। फास्फोरस चूने के साथ युक्त होकर मल में प्रविष्ट हो जाता है। इस काल में होनेवाली विभिन्न रासायनिक प्रक्रियाओं को इस प्रकार लिखा जा सकता है—

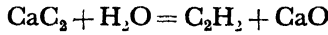
$$2FeO + Si = SiO_2 + 2Fe$$
$$FeO + Mn = MnO + Fe$$

१. Optical २. Entrapped inclusives

३. Teem

$$MnO + SiO_2 = MnO \cdot SiO_2$$
$$FeO + SiO_2 = FeO \cdot SiO_2$$
$$2P + 5FeO = 5Fe + P_2O_5$$
$$P_2O_2 + 3FeO = (FeO)_3 P_2O_5$$
$$(FeO)_3 P_5 O_5 + 3CaO = (CaO)_3 P_2O_5 + 3FeO$$

फास्फोरस समृद्ध आक्सीकारक मल फर्नेस के बाहर निकाल देने से बाद में धातु के पुनः स्फुरीकरण की आशंका नहीं रहती। अपचायक मल का निर्माण करने के लिए डाला गया कोक चूर्ण फर्नेस के वातावरण को अपचायक बनाता है। विद्युत चाप की प्रबल ऊष्मा से कार्बन और चूने में प्रक्रिया होकर कैलशियम कार्बाइड बनता है। इस काल में धातु का अनाक्सीकरण और गंधकहरण होता है।

$$FeO + C = Fe + CO$$
$$MnO + C = Mn + CO$$
$$CaO + 3C = CaC_2 + CO$$
$$3FeO + CaC_2 = 3Fe + CaO + 2CO$$
$$3MnO + CaC_2 = 3Mn + CaO + 2CO$$
$$FeS + CaO + C = Fe + CaS + CO$$
$$3FeS + 2CaO + CaC_2 \quad 3 \quad Fe + 3 + 3CaS + 2CO$$
$$MnS + CaO + C \quad Mn + CaS + CO$$
$$3MnS + 2CaO + CaC_2 = 3Mn + 3CaS + 2CO$$

उपर्युक्त रासायनिक प्रक्रियाओं से यह स्पष्ट है कि कार्बन की खपत को पूरा करने के लिए अतिरिक्त कोक चूर्ण का प्रभरण आवश्यक है। यदि कुंभ का अनाक्सीकरण संतोषजनक रीति से न हो तो गंधक धातु में पुनः वापस लौट आता है।

मल की अपचायक प्रकृति का परीक्षण करने के लिए उसे पानी में डाला जाता है। भली प्रकार बने मल से एसीटिलीन गैस की गंध आती है—

$$CaC_2 + H_2O = C_2H_2 + CaO$$

कुंभ का अनाक्सीकरण और गंधकहरण होने के पश्चात् धातु का ताप और रासायनिक समास समंजित किया जाता है। मेलीय तत्त्वों का प्रभरण त्रोटन के लगभग आधे घंटे पहले किया जाता है। इस अवधि में अनाक्सीकरण उत्पाद[1] धातु के ऊपर उठकर मल में आ जाते हैं।

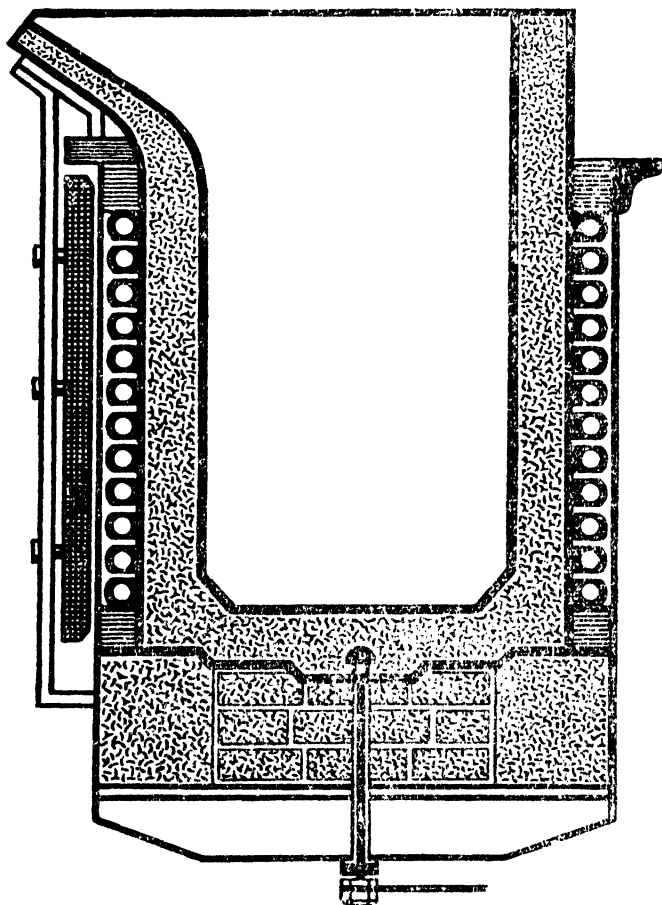
अम्लीय और क्षारीय विद्युत चाप विधियाँ

अम्लीय विद्युत चाप विधि को गलन विधि माना जा सकता है। इस विधि में गंधक और फास्फोरस का निष्कासन संभव न होने से कार्बन के आक्सीकरण के अतिरिक्त अन्य शोधन क्रियाएँ नहीं होतीं। प्रवर क्षेप्य का गलन कर इस्पात संवपनों का उत्पादन करने के लिए यह विधि अधिक प्रयुक्त हुई है। क्षारीय विधि के समान सूक्ष्म नियंत्रण की इस विधि में आवश्यकता नहीं रहती और न मल को फर्नेस के बाहर निकालना पड़ता है। इन कारणों से क्षारीय विधि की तुलना में उत्पादन गति अधिक होती है।

क्षारीय विद्युत चाप विधि में घटिया प्रभार का व्यवहार कर उत्तम अर्हतावाले इस्पातों का उत्पादन किया जा सकता है। परन्तु इसका यह अर्थ नहीं है कि उस के चुनाव में सावधानी न रखी जाय। अशुद्धियों की वृद्धि से विधि की कार्य अवधि अधिक हो जाती है, जिसके फलस्वरूप उत्पादन व्यय बढ़ जाता है।

अम्लीय विद्युत फर्नेस में कम सिलिकनवाला क्षेप्य नितल में प्रभरित

१. Products

किया जाता है। अम्लीय विवृत तंदूर फर्नेस के विपरीत इस विधि में प्रबल

चित्र ५४ क—विद्युत प्रेरक फनस की मुख्य बनावट

आक्सीकरण का अभाव रहता है, जिससे अग्निरोधकों का संक्षय होने की

संभावना नहीं रहती। अम्लीय विद्युत विधि में समापित इस्पात की तरलता पर सूक्ष्म नियंत्रण रखकर दुर्गम संवपनों का उत्पादन सफलतापूर्वक किया जाता है।

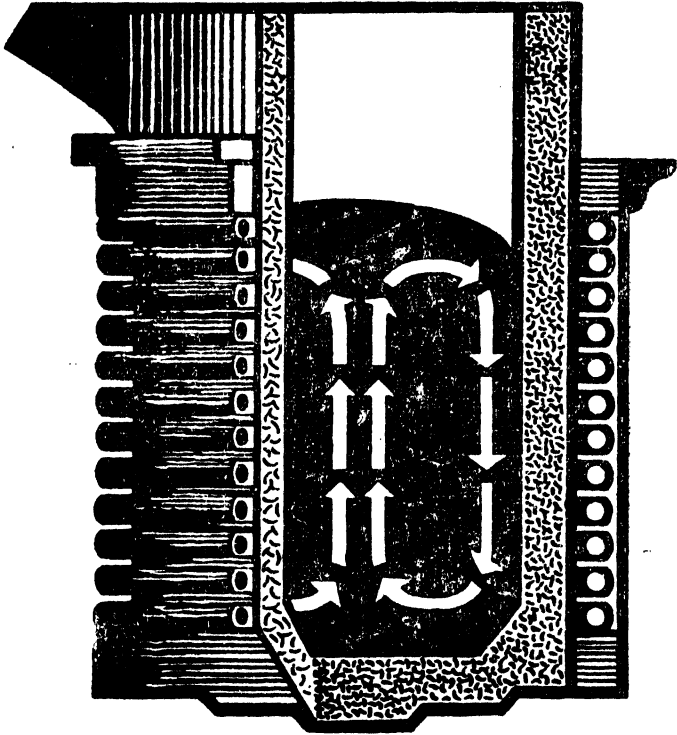
विद्युत प्रेरक फर्नेस

उच्च कोटि के मेल इस्पात, टूल इस्पात इत्यादि के उत्पादन के लिए विद्युतीय प्रेरण सिद्धान्त का उपयोग कर फर्नेसों का गठन किया गया है। इनके प्रादुर्भाव से पहले उच्च किस्म के इस्पातों का उत्पादन घरिया विधि के द्वारा किया जाता था, जिसमें द्रावकर्ताओं को कठिन परिश्रम करना पड़ता था। इतनी कष्टसाध्य विधि के स्थान में प्रेरक फर्नेस शान्त, सरल और धातुकीय दृष्टि से श्रेष्ठ है। इस्पात उत्पादन में इसका सबसे पहला प्रयोग सन् १९२७ में शेफील्ड (इंग्लैण्ड) में किया गया था। उस समय से इसका उपयोग निरंतर बढ़ता ही जा रहा है और श्रेष्ठ इस्पातों के उत्पादन के लिए यह आदर्श विधि मानी जाती है।

फर्नेस की बनावट

चित्र ५४ (क) में फर्नेस के प्रधान लक्षण स्पष्ट किये गये हैं। एक अग्निरोधक घरिया के ऊपर जल-शीतित कुंडलित चालक रखा जाता है। कुंडलित ताम्र चालक में प्राथमिक धारा और घरिया में रखे धातुकीय प्रभार में परवर्ती धारा (चित्र ५४ ख) प्रवाहित होती है। ताम्र चालक को जलशीतत रखना आवश्यक है, अन्यथा वह गल जायगा। ताम्र सर्पिल[1] और घरिया के बीच की जगह उपयुक्त अग्निरोधक कणों से भर दी जाती है। धोखे से कभी घरिया के टूटने पर इस प्रकार कुंडलित चालक का गलित धातु

१. Helix

से बचाव होता है। फर्नेस का बाहरी कर्पर[1] अदह[2] का बनाया जाता है।

चित्र ५४ ख—प्रेरक फर्नेस के धातुकीय प्रभार में परवर्ती धारा का प्रवाह

बहुत बड़ी फर्नेसों में इस्पात का बाहरी कर्पर बनाकर कुंडलित चालक और

१. Shell

२. Asbestos

कर्पर के बीच में पटलित[१] सिलिकन इस्पात का चुंबकीय परिरक्षक[२] लगा दिया जाता है। चुंबकीय स्यन्द[३] सिलिकन इस्पात में अधिक सरलतापूर्वक आकर कवच में भँवर धाराओं को रोकता है। इन फर्नेसों की धारिता १ पौंड से १० टन तक होती है।

ऊष्मा का उत्पादन

फर्नेस में ऊष्मा का उत्पादन ट्रांसफार्मर सिद्धान्त पर आधारित है। कुंडलित ताम्र चालक में अधिक आवृत्ति धारा प्रवाहित होने पर घरिया में रखे धातुकीय प्रभार में (जो ट्रांसफार्मर के परावर्ती की तरह होता है) विद्युत-चुंबकीय प्रेरण से भँवर धाराएँ[४] उत्पन्न होती हैं। धातुकीय प्रभार इनके प्रवाह को रोकता है, जिसके फलस्वरूप ऊष्मा का उत्पादन होता है। इस्पात में भँवर धाराओं के साथ चुंबकीय शैथिल्य भी प्रभार को तापित करता है। चुंबकीय बिन्दु पार हो जाने पर तापन केवल भँवर धाराओं द्वारा होता है। इस प्रकार उत्पादित ऊष्मा से इस्पात और अन्य उच्चतापीय धातुमेल गल जाते हैं। ऊष्मा उत्पादित करनेवाली भँवर धाराएँ आवृत्ति के वर्गानुरूप बदलती हैं। अतः फर्नेस में अधिक आवृत्ति धारा की आवश्यकता होती है। जितनी विशाल फर्नेस होगी, उतनी ही कम आवृत्तियों का उपयोग किया जा सकेगा। सामान्यतः १००० चक्र से १,०००,००० चक्र तक आवृत्तियाँ प्रयुक्त होती हैं।

फर्नेस का प्रभरण और कार्यन

प्रारंभिक काल में ऊष्मा के उत्पादन के लिए घरिया में कुछ बड़े

१. Laminated
२. Shield
३. Flux द्रावक
४. Eddy currents

टुकड़े रखना आवश्यक है। बड़े टुकड़ों के सभी तरफ धातु के छोटे छोटे टुकड़े संवेष्टित कर दिये जाते हैं। प्रभरण समाप्त होने पर अधिक आवृत्ति धारा शुरू कर दी जाती है। द्रुत गति से बदलते चुंबकीय स्यन्द के कारण घरिया में रखे प्रभार में प्रबल भँवर धाराएँ उत्पन्न होती हैं। ये प्रभार की बाहरी प्रधि[1] में रोध के कारण ऊष्मा का उत्पादन करती हैं, जो चालन द्वारा प्रभार के मध्य में आ जाती है। शीघ्र ही घरिया की तली में गलित धातु का पल्वल[2] बन जाता है और अगलित प्रभार के टुकड़े इसमें डूब जाते हैं। इस प्रकार घरिया में खाली जगह होने पर बचा हुआ प्रभार भी डाल दिया जाता है।

धारा के विद्युत चुंबकीय प्रभावों से गलित प्रभार में चक्रण[3] होता रहता है। इसे 'चलित्र प्रभाव'[4] कहते हैं जिसके फलस्वरूप कुंभ की ऊपरी सतह उतल[5] हो जाती है। इस प्रकार प्रभार के शीघ्र गलन तथा विधिवत् मिश्रण में सुविधा होती है। जो भी मेलीय तत्त्व उसमें सम्मिलित किये जाते हैं, कुंभ के विलोडन के कारण अच्छी तरह मिलकर एकरस हो जाते हैं।

सामान्यतः प्रेरक फर्नेस के प्रभार का चुनाव बहुत सावधानी से किया जाता है। विभिन्न रचकों, मेलीय तत्त्वों इत्यादि की सही मात्रा तौल-कर घरिया में डाली जाती है। विधि में प्रभार के शोधन का प्रयत्न सामान्यतः नहीं किया जाता। प्रबल विलोडन-क्रिया के कारण कुंभ की सतह पर मल का आवरण कठिनाई से टिक पाता है। साथ ही विद्युत का बुरा चालक होने के कारण मल का ऊष्मन धातु की ऊष्मा द्वारा ही होता है,

१. Rim
२. Pool
३. Circulation
४. Motor effect
५. Convex

जिसके फलस्वरूप धातु की तुलना में मल का ताप कम रहता है और शोधन कठिन तथा लाभरहित होता है। कभी-कभी क्षारीय अस्तर वाली फर्नेसों में थोड़ा शोधन किया जाता है।

गलन पूर्ण होने पर सतह पर आये मल को काछकर अलग कर दिया जाता है और यथेष्ट मात्रा में अनाक्सीकारक पदार्थ डाल दिये जाते हैं। विलोडन के कारण ये पदार्थ शीघ्रता से एकरस हो जाते हैं। धातु का ताप यथेष्ट बढ़ाने के लिए विद्युत शक्ति की आदा (input) बढ़ा दी जाती है और उपयुक्त ताप प्राप्त होने पर विद्युत सम्भरण बंद कर दिया जाता है। अब फर्नेस को झुकाकर धातु को लेडिल अथवा मोल्ड में त्रोटित किया जाता है। त्रोटन समाप्त होने पर घरिया की दीवारों पर चिपके मल को खुरचकर अलग करने के बाद फर्नेस दूसरा प्रभार लेने के लिए तैयार हो जाती है।

प्रेरक फर्नेस के लाभ

(१) इन फर्नेसों के कार्यन को एक प्रकार से विद्युतीय घरिया विधि माना जा सकता है, जिसकी तुलना में प्रेरक विधि सुविधाजनक, कम कष्टसाध्य और शान्त होती है। साधारण घरिया विधि में कठिन परिश्रम के बाद कुछ पौंड इस्पात का उत्पादन होता है। घरियों की धारिता बहुत अधिक नहीं बढ़ायी जा सकती, कारण कि उन्हें फर्नेस गुहा से निकालकर ढलाई करनी पड़ती है।

(२) प्रेरण विधि में ऊष्मा का उत्पादन प्रभार में होता है, किसी बाहरी ईंधन की आवश्यकता नहीं होती। इस कारण फर्नेस का धातु-धारिता परास विस्तृत होता है। १ पौंड से १० टन वाली फर्नेसों का गठन किया गया है। साधारण घरिया विधि में प्रत्येक घरिया की धारिता बहुत अधिक या कम नहीं की जा सकती।

(३) घरिया विधि के अंतिम चरणों में इस्पात की कार्बन और सिलिकन प्रतिशतता बढ़ जाती है। ईंधन के दहन से कुछ गंधक और फास्फोरस प्रभार में प्रविष्ट हो जाते हैं। प्रेरक विधि में कार्बन, गंधक, फास्फोरस

इत्यादि की मात्रा बढ़ने की कोई संभावना नहीं रहती। विद्युत चुंबकीय प्रभावों के कारण कुंभ का विलोडन भी प्रेरक विधि की अपनी विशेषता है जिसके कारण प्रभार के सभी रचक[1] एकदम समांगित हो जाते हैं। घरिया विधि में विलोडन करना पड़ता है, जो उच्च ताप के कारण बहुत अप्रिय कार्य होता है।

(४) प्रेरक फर्नेस के स्थापन और कार्यन में बहुत कम स्थान की आवश्यकता पड़ती है। फर्नेस के आसपास का वातावरण स्वच्छ और शान्त रहता है, जिसके कारण गवेषणा कार्य के लिए यह विधि बहुत लोकप्रिय हो गयी है।

(५) प्रभार के गलन में कम समय लगता है। शीतल प्रभार से आरंभ कर लगभग ५५ से ८० मिनट में गलन समाप्त होने पर धातु त्रोटित कर ली जाती है।

(६) उच्च मेलीय इस्पातों और अन्य मेलों के गलन के लिए प्रेरक फर्नेस बहुत उपयुक्त है। प्रभार के रासायनिक समास में बिना कोई परिवर्तन हुए श्रेष्ठ अर्हता वाली धातु की प्राप्ति होती है।

(७) फर्नेस के शीर्ष को बन्द कर किसी निश्चित वातावरण या निर्वात में गलन-कार्य किया जा सकता है। अनेक आधुनिक उपकरणों के लिए अत्युत्तम अर्हता वाले निर्वात गलित इस्पातों का महत्त्व बहुत बढ़ गया है।

(८) टूल इस्पातों, निकेल क्रोमियम धातुमेलों, उच्च मैंगनीज़ क्षेप्य, टंगस्टन, क्रोमियम, कोबाल्ट इत्यादि के कार्बाइडों के गलन के लिए प्रेरक फर्नेस बहुत उपयुक्त है। ताप के सरलतापूर्वक नियन्त्रण, उच्च ताप की प्राप्ति और चार्ज के विलोडन ने इन विशेष कार्यों के लिए प्रेरण विधि को अद्वितीय बना दिया है।

१. Components, घटक

(९) फर्नेस का सविराम उपयोग करने पर उसकी निष्पत्ति में कोई अंतर नहीं आता और न उसके अग्निरोधकों को कोई हानि पहुँचती है।

(१०) प्रेरक विधि की आनम्यता एक विशेष उल्लेखनीय गुण है। विभिन्न रासायनिक समासों के श्रेष्ठ धातुमेल बिना किसी कठिनाई के उसी घरिया में बनाये जा सकते हैं।

(११) अनेक धातुकीय क्रियाओं में बचे क्षेप्य का बिना कोई रासायनिक परिवर्तन हुए पुनर्गलन करना इसी विधि में संभव है। विद्युत चाप फर्नेसों में विद्युदग्रों से वाष्पित कार्बन धातु में विलयित हो जाती है।

(१२) गवेषणा के क्षेत्र में नये धातु-मेल बनाने में प्रेरक फर्नेस बेजोड़ है।

प्रेरक फर्नेस की कमियाँ

(१) प्ररचना में विद्युतीय और यान्त्रिक कठिनाइयों के कारण १५ टन से अधिक धारिता की फर्नेसों का गठन कठिन है।

(२) फर्नेस का कार्यन-व्यय अन्य विधियों की तुलना में अधिक होता है।

(३) प्रेरक फर्नेस मुख्यतः गलन के लिए उपयुक्त है। सामान्यतः शोधन-कार्य में इसका प्रयोग लाभदायक नहीं होता। इस कारण फर्नेस प्रभार का चुनाव बहुत सावधानी से किया जाना चाहिए।

(४) विधि में गलन अवधि कम होने के कारण कुंभ का प्रारंभिक विश्लेषण करना कठिन होता है। धातु के रासायनिक समास को समुचित रखने के लिए प्रभार पर नियन्त्रण रखना आवश्यक हो जाता है।

अध्याय १२

द्वैध और त्रैध विधियाँ

द्वैध विधि

विवृत तंदूर विधि के विकास के साथ उसकी कार्य-अवधि को कम करने के प्रयत्न निरन्तर होते रहे हैं। वैसे तो किन्हीं भी दो विधियों के योग को द्वैधन कहा जा सकता है, परन्तु वास्तव में अपनी लोकप्रियता और अधिक व्यवहार के कारण अम्लीय परिवर्तक और क्षारीय विवृत तंदूर के योग को ही द्वैध विधि कहा जाता है। इस्पात का पुंजोत्पादन बढ़ाने में द्वैधन बहुत सहायक सिद्ध होता है।

सीधी विवृत तंदूर विधि द्वारा इस्पात-उत्पादन की गति बहुत धीमी होती है। सामान्यत: प्रति सप्ताह एक फर्नेस में इस्पात के पन्द्रह तापन बनाये जाते हैं। इसके विपरीत बैसेमर परिवर्तक में उत्पादन की गति द्रुत रहती है। यह अन्तर दोनों विधियों में आक्सीकरण के वेग की भिन्नता के कारण होता है। विवृत तंदूर विधि में आक्सीकरण लोह आक्साइड और फर्नेस गैसों द्वारा होता है। धातु कुंभ की सतह पर आक्सीजन पहुँचने की गति धीमी होती है क्योंकि उसे मल की परत से विसरित होना पड़ता है। बैसेमर परिवर्तक में धमन के कारण आक्सीकरण की गति तीव्र रहती है।

द्वैधन में दोनों विधियों का योग कर इस्पात का उत्पादन बढ़ाया जाता है। पिग लोह में विद्यमान सिलिकन, मैंगनीज़ और अधिकांश कार्बन की मात्रा को अम्लीय बैसेमर परिवर्तक में आक्सीकृत किया जाता है और फिर फास्फोरस की मात्रा कम करने और कार्बन की मात्रा का समंजन करने के लिए क्षारीय विवृत तंदूर फर्नेस का उपयोग किया जाता

है। इस प्रकार इस्पात-उत्पादन की गति सीधी तंदूर विधि की तुलना में दुगुनी से अधिक हो जाती है। तंदूर फर्नेस में केवल फास्फोरस का निष्कासन और इस्पात के समापित समास का नियन्त्रण करना रह जाता है। इस प्रकार समय की बचत होती है, ईंधन का व्यय कम हो जाता है और प्रति फर्नेस उत्पादन में बहुत वृद्धि हो जाती है। पिग लोह के अधिकांश सिलिकन का आक्सीकरण परिवर्तक में हो जाने के कारण, क्षारीय तंदूर फर्नेस में अम्लीय पदार्थ कम हो जाते हैं, जिससे तंदूर और किनारों का संक्षय कम होता है और अग्निरोधक अस्तर का जीवन बढ़ जाता है। द्वैध विधि में इस्पात क्षेप्य की कोई आवश्यकता नहीं पड़ती। सामान्य तंदूर विधियों में पिग लोह में विद्यमान अशुद्धियों को तनु करने के लिए क्षेप्य आवश्यक है, अन्यथा विधि की कार्य-अवधि बहुत बढ़ जाती है जो आर्थिक दृष्टि से अवांछनीय है।

द्वैधन के दोषों की विवेचना करना भी आवश्यक है। बैसेमर परिवर्तकों और विवृत तंदूर फर्नेसों का संयुक्त संस्थापन व्यय बहुत अधिक होता है। द्वैधन में प्रयुक्त तंदूर फर्नेसें बहुधा अभ्यानम्य[1] होती हैं। इस विधि में प्रधान लक्ष्य पुंजोत्पादन होने के कारण, इस्पात की अर्हता पर समुचित नियन्त्रण करना कठिन होता है। इस कारण द्वैध इस्पात अनेक उपयोगों के लिए उपयुक्त नहीं माने जाते। व्यावसायिक रूप से छड़ें, पट्ट, चद्दर इत्यादि बनाने में द्वैध इस्पातों का व्यवहार किया जाता है। सामान्यतः द्वैध विधि में इस्पात क्षेप्य की खपत नहीं की जाती। अभ्यानम्य फर्नेसों की निष्पत्ति और उत्पादन गति क्षेप्य के उपयोग से बहुत कम हो जाती है।

विधि

विवृत तंदूर फर्नेस में श्रोटन के बाद इस्पात और मल का कुंभ बच रहता

१. Tilting

है। २०० टन धारिता वाली फर्नेस में लगभग २०—२५ टन धातु और ७—१० टन मल रखा जाता है। इस समय फर्नेस के किनारों का निरीक्षण कर डोलोमाइट से मरम्मत की जाती है। चूना, मिल स्केल इत्यादि डालकर उपयुक्त मल बनाया जाता है जो शीघ्रता से निःस्फुरण करता है। अब परिवर्त्तक से धमित धातु लाकर डाली जाती है। अति क्षारीय और आक्सी-कृत मल के सम्पर्क में आते ही धातु से फास्फोरस निष्कासित होकर कैल-सियम फास्फेट के रूप में मल में मिल जाता है। बीच बीच में चूना और मिल स्केल डालकर मल को उचित दशा में रखा जाता है। यह अत्यन्त आवश्यक है, कारण कि धातु का निःस्फुरण इसी पर अवलंबित रहता है। कार्बन की मात्रा बढ़ाने के लिए अधिक कार्बन प्रतिशतता वाले धमन डाले जाते हैं। आक्सीकृत मल के सम्पर्क में आते ही कार्बन और आक्सीजन की प्रक्रिया से कार्बन मोनाक्साइड बनती है। इससे कुंभ में उग्र उबाल आता है, गैसों के साथ मिश्रित होकर मल का आयतन बढ़ जाता है और वह फर्नेस के मध्य द्वार से बाहर निकलने लगता है। इस समय फर्नेस को थोड़ा आगे झुका दिया जाता है जिससे फास्फोरस युक्त मल सरलता से बाहर बह सके। मल द्वार में से बहकर नीचे रखे मलपात्र में गिर जाता है। इस प्रकार फास्फोरस युक्त अधिकांश मल बाहर निकल जाता है।

कार्बन का आक्सीकरण समाप्त होने पर उबाल क्रमशः शान्त हो जाता है। इस समय कुंभ में कार्बन की मात्रा देखी जाती है। न्यादर्श[१] को तोड़कर भंग[२] के निरीक्षण से कार्बन का अंदाज किया जाता है और प्रयोगशाला में कार्बन का सही पता लगाने के लिए विश्लेषण किया जाता है। कार्बन के आक्सीकरण के साथ फास्फोरस की मात्रा में कमी होना आवश्यक है। अच्छी कार्य-प्रणाली में कार्बन की उचित प्रतिशतता प्राप्त होने के पूर्व ही फास्फोरस की मात्रा में यथेष्ट कमी हो जाती है। ऐसा न

१. Sample २. Fracture

होने पर निःस्फुरण करने में आक्सीकरण से कार्बन की मात्रा कम हो जाती है। द्वैध विधि में सिलिकन, मैंगनीज़ और अधिकांश कार्बन का आक्सीकरण अम्लीय बैसेमर परिवर्तक में हो जाता है, जिससे क्षारीय तंदूर फर्नेस का धातुकीय भार कम हो जाता है। इसी कारण इस्पात के पुंजोत्पादन की गति बढ़ जाती है।

तंदूर इस्पातों की तुलना में द्वैध इस्पात में विलयित नाइट्रोजन की मात्रा अधिक रहती है। इस कारण द्वैध इस्पात अनेक उपयोगों के लिए अनुपयुक्त माने जाते हैं। नीचे विभिन्न प्रकार के इस्पातों में विद्यमान नाइट्रोजन की औसत प्रतिशतता दी गयी है—

इस्पात का प्रकार	औसत नाइट्रोजन प्रतिशतता
बैसेमर इस्पात	०.०१२—०.०२०%
द्वैध इस्पात	०.००५—०.००८%
क्षारीय तंदूर इस्पात	०.००४—०.००६%

साधारण उत्पादन के लिए द्वैध विधि में कार्बन की प्रारंभिक मात्रा समापित इस्पात से लगभग ४० अंक (०.४० प्रतिशत) अधिक रखी जाती है। विशेष इस्पातों, जैसे गुरु उद्रेखन के उपयुक्त इस्पातों के उत्पादन के लिए प्रारंभिक कार्बन की मात्रा और अधिक रखी जाती है, जिससे कुंभ में क्वथन की अवधि बढ़ जाती है और विलयित नाइट्रोजन की मात्रा में यथेष्ट कमी हो जाती है। तापन की कार्यप्रणाली लगभग सीधी क्षारीय तंदूर विधि के समान ही होती है। कार्बन और फास्फोरस की मात्रा तथा ताप ठीक हो जाने पर फर्नेस को झुकाकर इस्पात त्रोटित किया जाता है। फर्नेस को झुकाने से मल त्रोटन छिद्र के ऊपर चला जाता है और नीचे से बहकर धातु लेडिल में गिरती है। इस प्रकार लेडिल में आनेवाली मल की मात्रा कम होने से मल और इस्पात में होनेवाली प्रक्रिया भी घट जाती है। अनाक्सी-कारक और पुनर्कार्बनक पदार्थ, जैसे लोह सिलिकन, लोह मैंगनीज़ इत्यादि लेडिल में डाले जाते हैं।

सावधानी से बनाये गये द्वैध इस्पात की अर्हता तंदूर इस्पात के समकक्ष बनायी जा सकती है। वास्तव में दोनों विधियों से इस्पात का कार्यन, शोधन और समाप्ति प्रणाली लगभग समान होती है। इस कारण आजकल द्वैध इस्पातों का उपयोग बहुत बढ़ गया है। इस्पात क्षेप्य की कमी और उपलब्ध क्षेप्य में गंधक तथा अन्य अवांछनीय मेलीय तत्त्वों की उपस्थिति के कारण सीधी क्षारीय विवृत तंदूर विधि की तुलना में द्वैध विधि के लोकप्रिय होने की अधिक संभावना है। भारत में अधिकांश सामान्य इस्पातों का उत्पादन द्वैध विधि द्वारा किया जाता है।

त्रैध विधि

द्वैधन के समान ही इस्पात उत्पादन के लिए किन्हीं तीन विधियों के योग को त्रैधन कहते हैं। त्रैधन का सीमित उपयोग निम्नलिखित कारणों से किया जाता है—

(१) अधिक पिग लोह प्रतिशत वाले प्रभार से उच्च अर्हता या मेलीय इस्पातों का उत्पादन—इस विधि में पिग लोह का आंशिक शोधन अम्लीय बैसेमर परिवर्तक में किया जाता है। इस प्रकार सिलिकन, मैंगनीज़ और कार्बन का आंशिक आक्सीकरण किया जाता है। धमित धातु को क्षारीय तंदूर फर्नेस में कार्यित कर फास्फोरस का निष्कासन किया जाता है और इस्पात के समास को प्रतिमान के अनुरूप समंजित किया जाता है। अब शोधित धातु को क्षारीय विद्युत चाप फर्नेस में प्रभरित कर विशोधित किया जाता है और निश्चित मात्रा में मेलीय तत्त्व मिलाये जाते हैं। इस प्रकार पिग लोह से मेल इस्पातों का उत्पादन करने के लिए अम्लीय बैसेमर परिवर्तक, क्षारीय तंदूर फर्नेस और क्षारीय विद्युत चाप फर्नेस का योग किया जाता है।

(२) अधिक फास्फोरस युक्त पिग लोह का शोधन—पिग लोह में फास्फोरस प्रतिशत ०.८% से अधिक होने पर लेडिल में अधिक फास्फोरस-युक्त मल के साथ सम्पर्क होने के कारण इस्पात के पुनःस्फुरण की संभावना

अधिक रहती है। इस प्रवृत्ति को कम करने के लिए अम्लीय परिवर्तक में धमित धातु को अभ्यानम्य क्षारीय तंदूर फर्नेस में कार्यित कर फास्फोरस की मात्रा ०.०७ से ०.१ तक घटा दी जाती है। तापन को त्रोटित कर अधिकांश फास्फोरसयुक्त मल को अलग कर दिया जाता है और फिर दूसरी क्षारीय तंदूर फर्नेस में फास्फोरस की मात्रा यथेष्ट रूप में घटायी जाती है। इसके लिए पहली क्षारीय तंदूर फर्नेस का उपयोग भी किया जा सकता है।

(३) विशेषिका[1] में अम्लीय इस्पातों का उपयोग—कुछ वर्ष पूर्व तक रेलगाड़ियों के चाकों, धुरी और टायरों के लिए अम्लीय इस्पातों का उपयोग निर्देशित था। इस कारण क्षारीय तंदूर फर्नेस से प्राप्त शोधित इस्पातों को अम्लीय तंदूर फर्नेस में डालकर कार्बन का अंतिम समंजन किया जाता था। इस प्रकार अम्लीय बैसेमर परिवर्तक, क्षारीय तंदूर और अम्लीय तंदूर फर्नेसों के योग से त्रैध इस्पात बनाया जाता था। अब इसे अनावश्यक मानकर बन्द कर दिया गया है।

तीन प्रकार की फर्नेसों के संस्थापन और संधारण व्यय, गलित इस्पात को एक से दूसरी फर्नेस तक ले जाने और प्रभरण में कठिनाई और ऊष्मा की हानि के कारण, विशिष्ट दशाओं के अतिरिक्त, त्रैधन लोकप्रिय और आर्थिक दृष्टि से लाभदायक नहीं हो सका है। साथ ही परिवर्तक में धमित धातु को सीधे क्षारीय विद्युत चाप फर्नेस में डालकर उत्तम अर्हता वाले इस्पातों का उत्पादन किया जा सकता है। इस प्रकार त्रैधन की अनावश्यकता स्पष्ट हो जाती है।

१. Specifications

अध्याय १३

इस्पात पिंडकों का उत्पादन

विभिन्न आधुनिक विधियों द्वारा उत्पादित इस्पात द्रव दशा में प्राप्त होता है। विद्युत फर्नेसों का एक तापन लगभग ४ टन, बैसेमर परिवर्तक का लगभग २५ टन और विवृत तंदूर फर्नेसों का लगभग २५० टन का होता है। फर्नेसों की धातु-धारिता के अनुसार द्रव इस्पात की उपलब्ध मात्रा बहुत बदल सकती है। उदाहरणार्थ आधुनिक बड़ी विद्युत चाप फर्नेसों के एक तापन में १०० टन इस्पात बनाया जाता है।

गलित इस्पात की कुछ मात्रा रेत के बने मोल्डों में डालकर उपयुक्त आकार वाले इस्पात संवपनों[1] का उत्पादन किया जाता है। इष्ट आकार पहले से ही रेत में बना लिये जाते हैं। इस प्रकार बनाये गये इस्पात संवपनों का समधिक यान्त्रिक आकारन आवश्यक नहीं होता। बाजू धमित परिवर्त्तक और विद्युत चाप विधियाँ इसके लिए अधिक लोकप्रिय हुई हैं। इस संबंध में हम पिछले अध्यायों में विस्तारपूर्वक चर्चा कर चुके हैं।

अधिकांश उत्पादित इस्पात विभिन्न यांत्रिक क्रियाओं द्वारा आकारित होने के लिए बीड़ के मोल्डों में ढाला जाता है। इस प्रकार इस्पात के पिंडक या सिलें प्राप्त होती हैं। इन पिंडकों को गरम कर बेलित किया जाता है या तापकुट्टन द्वारा विभिन्न आकार बनाये जाते हैं। इस्पात को आका-

१. Casting

रित करनेवाली विभिन्न यांत्रिक विधियों और उनके सिद्धांतों की चर्चा हम अगले अध्याय में करेंगे।

अवपातन प्रविधि

विभिन्न विधियों द्वारा अच्छे इस्पातों के उत्पादन के लिए आवश्यक घटकों की चर्चा हम पिछले अध्यायों में कर चुके हैं। फर्नेस प्रकार्य में इन बातों पर सावधानीपूर्वक ध्यान देकर अच्छे इस्पातों का उत्पादन किया जाता है। द्रव इस्पात को मोल्डों में प्रपूरित कर इन्गटों का उत्पादन करने के लिए उसे लेडिल में त्रोटित किया जाता है। इस्पात संयन्त्रों का यह खंड अवपातक[1] कहलाता है। यहाँ के उपक्रमों पर उचित ध्यान न देने से फर्नेस में बने अच्छे इस्पात का सर्वनाश हो सकता है। इस्पात का त्रोटन, अनाक्सीकरण और पुनर्कार्बनन, प्रपूरण, इन्गटों का संपीडन इत्यादि अत्यन्त सावधानीपूर्वक किये जाने चाहिए। इसके लिए श्रेष्ठ धातुकीय ज्ञान और अनुभव की आवश्यकता पड़ती है।

इस्पात का त्रोटन करने के पूर्व उसके रासायनिक समास का नियमन[2] फर्नेस में कर लिया जाता है। हानिकर अशुद्धियों का निष्कासन होने और कार्बन की इष्ट मात्रा आने के बाद धातु का त्रोटन किया जाता है। त्रोटन में धातु लेडिलों में गिरायी जाती है। विवृत तंदूर फर्नेस में त्रोटन छिद्र खोलने से, इस्पात त्रोटन ओष्ठ में बहकर लेडिल में गिरता है। त्रोटन ओष्ठ और लेडिल में अग्निरोधक अस्तर लगाया जाता है और धातु का अभिशीतन बचाने के लिए उन्हें भली प्रकार सुखाया और गरम किया जाता है। त्रोटन ओष्ठ और लेडिल में लगे अग्निरोधकों के टुकड़े निकलकर इस्पात की स्वच्छता का नाश कर सकते हैं। इसे रोकना आवश्यक है।

१. Pitside

२. Regulation

ओटन में गलित इस्पात का उग्र विलोडन होता है और ओटन ओष्ठ में प्रवाहित और लेडिल में गिरते समय वायु से उसका खुला संपर्क होने के कारण अनियंत्रित आक्सीकरण और मल के साथ मिश्रण होता है। ओटन के समय धातु का ताप बहुत महत्त्वपूर्ण है। कम ताप होने से लेडिल में डाले गये लोह मेल एकरस नहीं होंगे और प्रपूरण के पूर्व ही इस्पात लेडिल में संपिडित होने लगेगा। इस प्रकार इस्पात की समांगता और लब्धि बहुत घट जायगी। ओटन ताप अधिक होने पर धातु उग्र रहेगी, लेडिल के अस्तर का संक्षय बढ़ेगा, प्रपूरण में दरारदार इन्गटें प्राप्त होंगी और उनको ठंडा करने में अधिक समय लगेगा। इस्पात की ओटन गति और प्रवाह की प्रकृति भी कम महत्त्वपूर्ण नहीं हैं। ओटन की गति तीव्र होने पर लेडिल में लोह मेल डालने के लिए पर्याप्त समय नहीं मिलता। इसके विपरीत धीरे-धीरे ओटन करने से व्यर्थ में धातु अभिशीतित[1] होती है।

ओटन में इस्पात को घुमावदार गति देने के लिए लेडिल को धारा के मध्य से १५-२० इंच हटाकर रखा जाता है। इस प्रकार इस्पात की धारा विराम दंड पर नहीं गिरती और इस्पात के प्रक्षोभ[2] से लेडिल में डाले गये मेलीय पदार्थ भली प्रकार मिल जाते हैं। साथ ही अधातुकीय अशुद्धियों और मल कणों की सतह पर उठकर मल में मिलने की सुविधा बढ़ जाती है।

इस्पात का अनाक्सीकरण

इस्पात उत्पादन के मूल सिद्धान्तों की चर्चा करते समय यह स्पष्ट किया गया था कि पिग लोह में विद्यमान कार्बन, मैंगनीज, सिलिकन, फास्फोरस और गंधक की मात्रा में समुचित कमी करना आवश्यक है। गंधक

१. Chilled
२. Agitation

के सिवाय अन्य सभी तत्त्वों को आक्सीकृत कर उनकी मात्रा घटायी जाती है। इसलिए धातु कुंभ का आक्सीकरण किया जाता है। अशुद्धियों के आक्सीकरण के साथ धातु में विलयित आक्सीजन की मात्रा अधिक हो जाती है। इसे नियंत्रित करना निम्नलिखित कारणों से आवश्यक है—

(१) कुंभ में विलयित आक्सीजन की मात्रा अधिक होने से कार्बन प्रतिशतता पर नियंत्रण रखना कठिन हो जाता है। इस्पात के संपिंडन में कार्बन और आक्सीजन की प्रक्रिया से कार्बन मोनाक्साइड गैस बनती है। इससे इस्पात में धमन छिद्रों की संभावना बढ़ जाती है और संपिंडन में उग्र प्रधि क्रिया[1] होने लगती है।

(२) अधिक आक्सीजन होने से डाले गये मेलीय तत्त्वों के आक्सीकरण पर कोई नियंत्रण नहीं रहता। उनकी अधिक मात्रा की हानि होती है और इस्पात के समापित समास के विषय में कोई निश्चितता नहीं रहती।

(३) इस्पात में विलयित आक्सीजन विभिन्न आक्साइडें बनाती हैं। इनसे इस्पात की स्वच्छता नष्ट होती है और समापित इस्पात के गुणों (जैसे कार्यन, तन्यता, यव परिमा,[2] यान्त्रिक शक्ति की दिशा इत्यादि) पर व्यापक असर होता है।

(४) इस्पात में अनाक्सीकारक पदार्थों की उचित मात्रा डालकर भिन्न-भिन्न प्रकार के (जैसे हत,[3] अर्धहत[4] और प्रधि) इस्पातों का उत्पादन किया जाता है। इस्पात पिंडक की रचिति का नियंत्रण करने के के लिए यह आवश्यक है।

१. Rim action   २. Grain size

३. Killed

४. Semi-killed

अनाक्सीकरण और इन्गट (पिंडक) की रचिति

गलित इस्पातों के संपिडन में ०.०८ से ०.९ % सैं० में २.१८ से २.४७ प्रतिशत आकुंचन होता है। गलित इस्पात सबसे पहले मोल्ड की दीवारों के सम्पर्क में आता है। यहाँ से संपिडन प्रारंभ होकर भीतर बढ़ता है। संपिडन के फलस्वरूप हुए आकुंचन को पूरा करने के लिए मोल्ड के ऊपरी भाग से गलित धातु खिच आती है और मोल्ड के ऊपर मध्य का स्थान रिक्त रह जाता है। इसे 'पाइप' कहते हैं। यह प्रवृत्ति पूर्ण हत इस्पात पिंडकों में अधिकतम होती है। पूर्ण अनाक्सीकरण के फलस्वरूप संपिडन में कार्बन मोनाक्साइड का निकास न होने के कारण धमन छिद्र नहीं बनते और पाइप की परिमा अधिकतम रहती है। इन्गट के पाइप वाले हिस्से को काटकर अलग करना पड़ता है। हत इस्पातों का उत्पादन करने के लिए अनाक्सीकर पदार्थों को पर्याप्त मात्रा डालकर अवशिष्ट आक्सीजन प्रतिशतता इतनी कम कर दी जाती है कि संपिडन में कार्बन मोनाक्साइड का बिल्कुल निकास न हो। हानित पिंडकों में निर्दोष इस्पात की लब्धि लगभग ७७ प्रतिशत होती है।

इस्पात में अवशिष्ट आक्सीजन की मात्रा अधिक होने पर CO गैस के निकास से इस्पात का सम्पूर्ण आयतन बढ़ जाता है और आकुंचन[१] कोटर[२] की परिमा घट जाती है। इस्पात की काय में CO गैस पाशित होने से धमन छिद्र बन जाते हैं। इस प्रकार पिंडक का अन्तिम आयतन धमन छिद्रों और आकुंचन कोटर के योग पर निर्भर रहता है। अर्ध-हत इस्पातों के उत्पादन में विलयित आक्सीजन की मात्रा का नियंत्रण इस प्रकार किया जाता है कि पिंडक का शीर्ष लगभग समतल रहता है और पाइप की परिमा छोटी हो जाती है। इस प्रकार पिंडक का काटकर अलग

१. Shrinkage

२. Cavity

करने योग्य हिस्सा कम होकर, धातु की लिब्ध लगभग ८८ प्रतिशत हो जाती है।

प्रधि (rim) इस्पातों में CO के निकास से असंख्य छोटे छोटे अधस्तल धमन छिद्र बनते हैं, जिससे पिंडक में संपिंडन के समय होनेवाला आकुंचन बिल्कुल मिटकर, पिंडक का आयतन बढ़ जाता है। इन इन्गटों में पाइप नहीं बनता, केवल इन्गट के शीर्ष का थोड़ा भाग स्पंजी रहता है। प्रधि इस्पातों के उत्पादन में धातुकीय लब्धि लगभग ८५% होती है।

भिन्न प्रकार के इस्पातों का चुनाव करते समय निम्नलिखित घटकों पर विचार किया जाता है --

(१) समापित इस्पात का रासायनिक विश्लेषण

प्रधि इस्पातों का उत्पादन करते समय कार्बन प्रतिशतता ०.२५% और मैंगनीज प्रतिशता ०.६ % से कम रखी जाती है। कार्बन और मैंगनीज की मात्रा अधिक होने पर विलयित आक्सीजन की मात्रा कम होने के कारण प्रधि क्रिया शिथिल हो जाती है।

(२) उत्पादों की प्रकृति

इस्पात के संपिंडन में गैसों का अभाव होने के कारण पूर्ण हत इस्पातों का संपिंडन शान्त होता है। इनमें धमन छिद्र नहीं होते, पाइप की परिमा अधिकतम होती है और अशुद्धियों का एकत्रन कम होता है। पाइप वाले हिस्से को छोड़कर इन्गट का अन्य भाग दोषों से मुक्त रहता है। इन इस्पातों का उपयोग तापकुहन और अन्य ऐसे अवयवों के निर्माण में होता है, जिन्हें सेवाकाल में कठिन भार और तनावों का सामना करना पड़ता है।

प्रधि इस्पातों के उत्पादन में गैसों का अधिकतम निकास होने के कारण अशुद्धियों का एकत्रन सर्वाधिक होता है। प्रधि इन्गटों का तल अच्छा होने के कारण चद्दर, स्केल्प इत्यादि के उत्पादन में इन्हें पसंद किया जाता है।

(३) मिल वृत्ति और उपलब्ध प्रसाधन

पिंडकों को बेलित करते समय उनकी काय में स्थित अनाक्सीकृत धमन छिद्र दबाव के कारण संमुद्रित हो जाते हैं। बड़े पिंडकों को बेलित कर अर्ध हत इस्पात में विद्यमान धमन छिद्रों को संमुद्रित करते हुए दोषरहित समापित उत्पाद निर्मित किये जा सकते हैं। यदि बड़ी रोलिंग (बेलन) मिल की सुविधा न हो, तब इन उत्पादों का निर्माण करने के लिए दोष-रहित पूर्ण हत इस्पातों का उपयोग करना पड़ेगा।

(४) धातुकीय लब्धि और आर्थिक लाभ

धातुकीय लब्धि अनेक घटकों पर अवलंबित रहती है। मेलीय इस्पातों के उत्पादन में अवशिष्ट आक्सीजन के कारण मेलीय तत्त्वों की हानि बढ़ जाती है। पूर्ण हत इस्पातों में आकुंचन कोटर अधिकतम रहने से धातुकीय लब्धि निम्नतम (७७%) रहती है। प्रधि इस्पातों में एकत्रन दोष के साथ ऊपर के स्पंजी शीर्ष को काटकर अलग करना पड़ता है। इनकी धातुकीय लब्धि लगभग ८५ % रहती है। अर्ध हत इस्पातों में अशुद्धियों का एकत्रन पूर्ण हत इस्पातों की तुलना में अधिक परन्तु प्रधि इस्पातों की अपेक्षा बहुत कम रहता है। छोटा पाइप होने के कारण धातुकीय लब्धि लगभग ८८ प्रतिशत होती है। उपर्युक्त कारणों से इस्पात के व्यावसायिक उत्पादन का अधिकांश भाग अर्ध हत इन्गटों के रूप में ही निर्मित होता है।

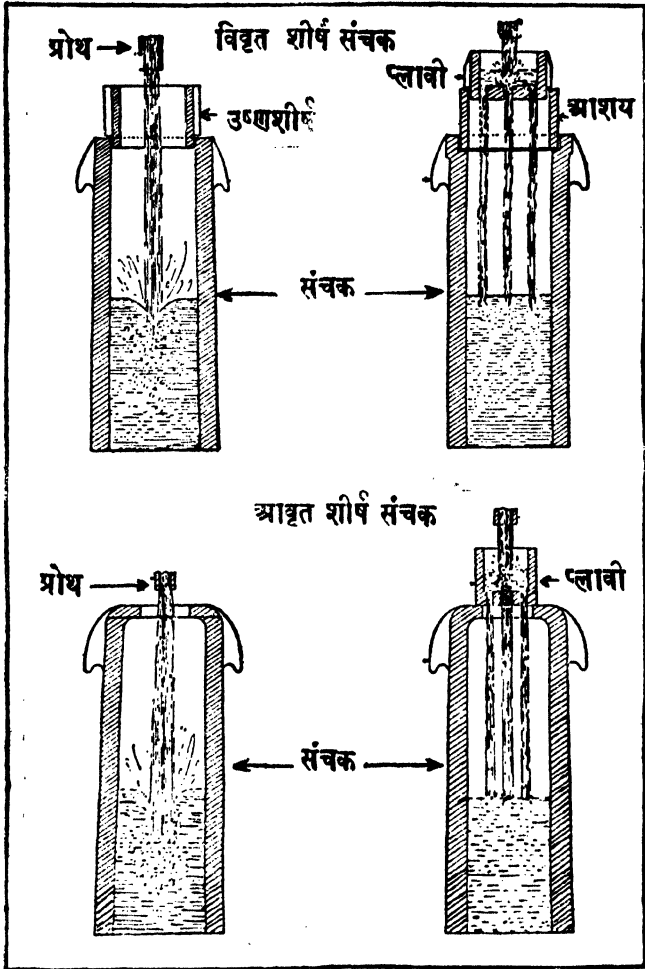
अनाक्सीकरण प्रविधि

इस्पात का अनाक्सीकरण करने के लिए अनेक लोह मेल उपयोग में लाये जाते हैं। इन पदार्थों का रासायनिक विश्लेषण अध्याय ४ में दिया गया है। इनमें से लोह मैंगनीज, लोह सिलिकन और स्पीजेल का उपयोग अधिक किया जाता है। इस्पात में मेलीय तत्त्वों का समावेश करने के लिए

लोह् क्रोमियम, लोह् वेनेडियम इत्यादि लोह् मेल डाले जाते हैं। लेडिल में पर्याप्त धातु गिर जाने पर लोह् मेल डाले जाते हैं, जिससे धातु मसनद का काम करे। लोह् मेलों को इस्पात के साथ एकरस होने और अनाक्सी-करण उत्पादों को धातु की सतह तक उठकर मल में मिलने के लिए पर्याप्त समय दिया जाता है। जब कभी लेडिल में डाले गये धातुमेलों की मात्रा बहुत अधिक होती है, जैसे ट्रांसफार्मर श्रेणी के उच्च सिलिकन इस्पात के उत्पादन में[1] तब समांगता लाने के लिए इस्पात को एक से दूसरी लेडिल में उड़ेला जाता है।

स्रोटन[1] में मल और इस्पात का मिश्रण होने के कारण क्षारीय विधियों द्वारा उत्पादित इस्पातों में पुनःफास्फरन की आशंका बनी रहती है। यह प्रवृत्ति अनाक्सीकरण के समय बढ़ जाती है, कारण कि इस समय मल का आक्सीजन विभव घट जाता है। इस प्रवृत्ति को रोकने के लिए अधिक से अधिक क्षारीय मल को फर्नेस में रोक रखने का प्रयत्न किया जाता है तथा लेडिल में आये मल को गाढ़ा और अभिशीतित करने के लिए चूना डाला जाता है।

अनाक्सीकरण के लिए एक से अधिक लोह् मेलों का व्यवहार किया जाता है। सिलिकन के साथ आक्सीजन की प्रक्रिया से सिलिका (SiO_2) बनता है तथा मैंगनीज के साथ प्रक्रिया से मैंगनीज आक्साइड (MnO) बनती है। ये दोनों अनाक्सीकरण उत्पाद सुगलनीय नहीं हैं परन्तु इनकी प्रक्रिया से $MnO.SiO_2$ बनता है जो द्रवित होकर शीघ्रता से धातु की सतह पर आकर मल में मिल जाता है। अनाक्सीकरण के लिए वे ही तत्त्व उपयोग में लाये जाते हैं, जिनकी लोह् की तुलना में आक्सीजन से अधिक बंधुता हो। धातु के सम्पर्क में आकर ये तत्त्व आक्सीकृत हो जाते हैं और इस प्रकार इस्पात का आक्सीजन-आधेय[2] कम हो जाता है। एल्यूमिनियम द्वारा

१. Tapping २. Content

चित्र ५५—बीड मोल्डों में इस्पात का शीर्ष प्रपूरण

अनाक्सीकरण करने से उसकी आक्साइड एल्यूमिना बनती है। यदि धातु के अनाक्सीकरण के समय उपयुक्त Si/Al अनुपात रखा जाय तो स्वच्छ इस्पात मिलता है। सिलिकन की मात्रा कम होने पर एल्यूमिना के कण सरलता से ऊपर नहीं उठ पाते, जिसके कारण इस्पात की गंदगी बढ़ जाती है। एक से अधिक अनाक्सीकारक पदार्थों का उपयोग करने से इस्पात की स्वच्छता बनी रहती है और अनाक्सीकरण की निष्पत्ति बढ़ जाती है।

इस्पात का प्रपूरण (Teeming)

लेडिल में इस्पात का अनाक्सीकरण करने और उसके फलस्वरूप प्राप्त उत्पादों को ऊपर उठने के लिए पर्याप्त समय बीतने के बाद बीड़ के बने मोल्डों में इस्पात का प्रपूरण किया जाता है। प्रपूरण के लिए निम्नलिखित दो पद्धतियाँ प्रयुक्त होती हैं—

(१) शीर्ष प्रपूरण पद्धति

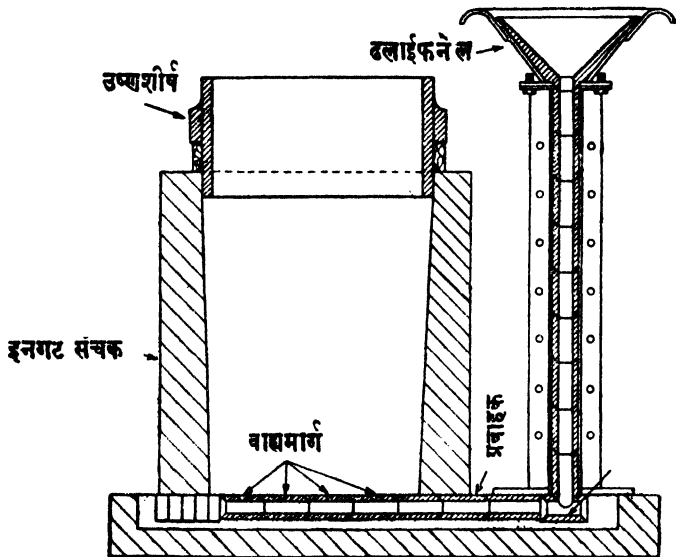
(२) नितल प्रपूरण पद्धति

शीर्ष प्रपूरण पद्धति

बीड़ के बने मोल्डों में धातु उसी प्रकार भरी जाती है जिस प्रकार कि एक कप भरा जाता है (चित्र ५५)। मोल्ड भर जाने के बाद इस्पात का गिराना बंद कर दिया जाता है और अगला मोल्ड भरना प्रारंभ किया जाता है। कम संस्थापन व्यय, अवपातन कार्य और सुविधाजनक होने के कारण अधिकांश व्यावसायिक इस्पातों का शीर्ष प्रपूरण किया जाता है।

नितल प्रपूरण पद्धति

इसे 'ऊर्ध्वग प्रपूरण' भी कहते हैं। गलित इस्पात केन्द्रीय तुरही में डाला जाता है जहाँ से वह नलिकाओं में प्रवाहित हो विभिन्न मोल्डों में ऊपर उठता है। इसी कारण यह ऊर्ध्वग प्रपूरण पद्धति कहलाती है (चित्र ५६)।

शीर्ष प्रपूरण की तुलना में यह पद्धति अधिक संकुल (जटिल) होती है, परन्तु पहली पद्धति की तुलना में इसके अनेक लाभ हैं—

चित्र ५६—इस्पात के नितल प्रपूरण की विधि

(१) शीर्ष प्रपूरण में, धातु मोल्ड के नितल में गिरते ही उसके छींट उछलकर मोल्ड की अपेक्षाकृत शीतल दीवारों के संपर्क में आते हैं। वे वहाँ आक्सीकृत और संपिडित होकर चिपक जाते हैं। मोल्ड में धातु भरने पर ये पूर्णतः गलित नहीं होते और इस प्रकार इन्गट के तल को रूखा और असम बनाते हैं। इस्पात के कार्यन में ये सतह दोषों के रूप में उत्पादों में प्रकट होते हैं। नितल प्रपूरण में यह न होने के कारण इन्गट (पिंडक) और उत्पादों की सतह सम रहती है।

(२) नितल प्रपूरण में इस्पात धीरे-धीरे मोल्डों में ऊपर उठता है जिसके कारण मोल्डों में इस्पात के तल का उठाव शान्त रहता है और इन्गट की सतह सम बनाता है। शीर्ष प्रपूरण में उग्र गति के कारण यह नहीं होता।

(३) नितल प्रपूरण में चार, छै या आठ मोल्डों में ढलाई एक साथ होती है, जिससे विराम दंड को बार-बार नहीं उठाना पड़ता। प्रपूरण में प्रोथ[1] और विराम दंड चिपक जाने या विफल हो जाने से बहुत कठिनाई तथा इस्पात की हानि होती है। नितल प्रपूरण में प्रोथ का व्यास अधिक रखकर ढलाई शीघ्रता से समाप्त की जा सकती है। प्रपूरण के समय एक समूह में गिरनेवाले इस्पात का ताप स्थिर रहता है। शीर्ष प्रपूरित पहले और आखिरी मोल्ड में गिराये गये इस्पात के ताप में अधिक भिन्नता आ जाती है।

(४) तुरही से बहकर इस्पात घुमावदार गति से मोल्डों में ऊपर उठता है, जिससे कोई भी बाहरी अन्तर्भूत सरलता से सतह पर आ जाता है।

नितल प्रपूरण की कमियाँ

(१) नितल प्रपूरण प्रसाधनों का संस्थापन-व्यय अधिक होता है।

(२) पिंडकों की ढलाई के पूर्व का अवपातन कार्य अधिक होता है।

(३) इस्पात का ताप अधिक होने पर केन्द्रीय तुरही से मोल्डों को जोड़नेवाली अग्निरोधक नलिकाएँ संक्षत हो जाती हैं। इस कारण इस्पात में बाहरी अंतर्भूत समाविष्ट होकर उसकी स्वच्छता को नष्ट कर देते हैं। कभी कभी नलिकाओं से इस्पात बह निकलता है।

(४) मोल्ड ऊपर चौड़े होने के कारण पिंडक का अपखंडन[2] अधिक कठिन होता है।

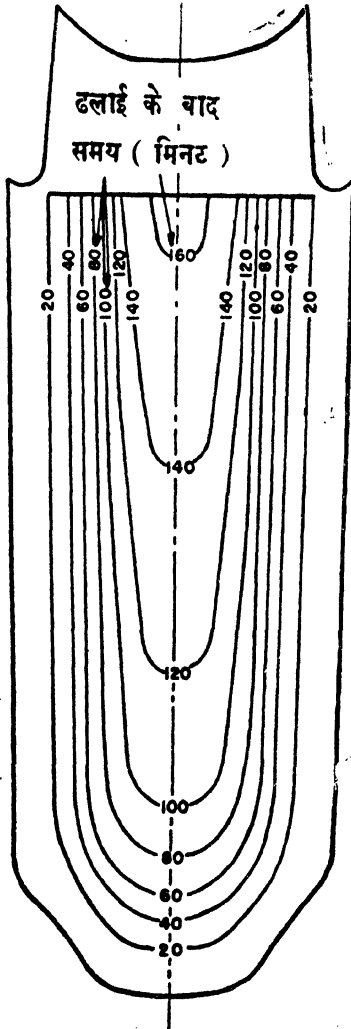
इन सभी कारणों से व्यावसायिक इस्पातों के उत्पादन में शीर्ष प्रपूरण का अधिक उपयोग किया जाता है। धातु का सेचन[3] कम करने के लिए

१. Nozzle तुंड २. Stripping ३. Sprinkling

अग्निरोधक अस्तरवाले पात्र का व्यवहार किया जाता है, जिसे 'टंडिश' कहते हैं। इसे मोल्ड के ऊपर रख दिया जाता है और मोल्ड में गिरने के पहले लेडिल से धातु टंडिश में गिरती है। इस प्रकार इस्पात की प्रवाह गति कम हो जाने से इस्पात का सेचन कम हो जाता है। कभी कभी टंडिश में दो प्रोथ होते हैं, जिनसे दो मोल्डों में एक साथ प्रपूरण होता है। सेचन के प्रभाव को कम करने के लिए मोल्डों की भीतरी सतह तारकोल से पोत दी जाती है। इससे उछले इस्पात के कणों का आक्सीकरण और चिपकना कम हो जाता है, परन्तु इस्पात को सतह पर कार्बन की मात्रा बढ़ जाती है। इस्पात का सफल, सुविधाजनक और लाभदायक प्रपूरण भविष्य में धातुविज्ञों के लिए सक्षम चुनौती है।

प्रपूरण में पहले लगभग चौथाई प्रोथ खोला जाता है। मोल्ड में ६-८ इंच गहराई का धातु पल्वल बन जाने के बाद, प्रोथ को पूरा खोला जाता है। इस प्रकार सेचन कम होता है, कारण कि मोल्ड में धातु का पल्वल मसनद का काम करता है। प्रपूरण में मोल्ड यदि शीतल हो तो उसकी भीतरी सतह धातु के छींटों के चिपकने से रूखी और गढ़ेदार हो जाती है। इस प्रकार मोल्ड का जीवन कम हो जाता है। मोल्ड का ताप अधिक होने पर संपिडन की गति कम हो जाने से अशुद्धियों का एकत्रन बढ़ जाता है। दूसरी ढलाई में मोल्डों को ९०° घुमा दिया जाता है। इससे उनका उपयोगी जीवन बढ़ जाता है। दो मोल्डों के आमने सामने वाले फलकों में ताप का निष्कासन अन्य दो फलकों की तुलना में कम होने से, उनका विवर्षण और दारण अधिक होता है।

मोल्डों में इस्पात का संपिडन

मोल्ड में इस्पात का ढलन होते ही अपेक्षाकृत शीतल बीड की दीवारों से सम्पर्क होता है और इस्पात की एक परत अभिशीतित हो जाती है। मोल्ड की मोटी दीवारें शीघ्रता से धातु का ताप खींच लेती हैं। धातु में इस समय बननेवाले मणिभ मोल्ड की दीवारों पर लंब रूप रहते हैं।

चित्र ५७—इस्पात के संपिंडन का तरीका

धीरे धीरे मोल्ड के गरम होने पर इस्पात से ताप निष्कासन का वेग मंद होकर लगभग समगति प्राप्त कर लेता है। इस्पात के संपिंडन से प्राप्त इन्गट में विभिन्न भाग चित्र ५७ में भली प्रकार स्पष्ट किये गये हैं।

इन्गटों के उत्पादन में सामान्यतः निम्नलिखित दो प्रकार के मोल्ड व्यवहृत होते हैं —

(१) नितल स्फारित मोल्ड

(२) शीर्ष स्फारित मोल्ड

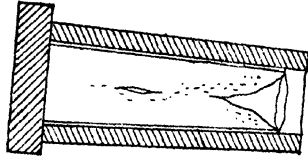
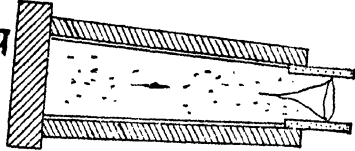
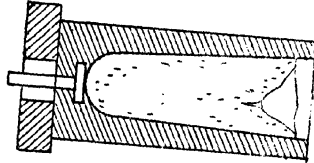
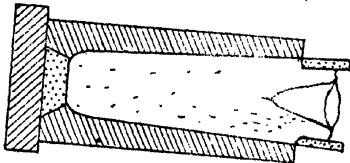
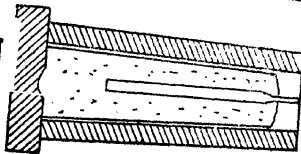
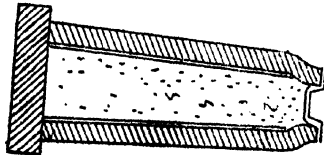
इनमें प्रपूरण के पश्चात् इस्पात के संपिंडन की विवेचना विस्तार-पूर्वक की जायगी।

(१) नितल स्फारित मोल्ड

इन मोल्डों में संपिंडन मोल्ड की दीवारों और शीर्ष से प्रारंभ होता है। धातु के संपिंडन में अपेक्षाकृत शुद्ध लोह के मणिभ पहले संपिंडित होते हैं जिससे अशुद्धियाँ बचे द्रव में एकत्रित हो जाती है। संपिंडन में धातु के आकुंचन से इन्गट के काय में पाइप बन जाता है। पूर्ण हत इस्पात में गैसों का निकास नहीं होता। अर्धहत और प्रधि इस्पातों में गैसों के निकास से धमन छिद्र बनते हैं। अशुद्धियों का एकत्रन पाइप के निकट अधिक होता है, कारण कि इसका संपिंडन सबसे देर में होता है। मोल्ड ऊपर सँकरा होने के कारण धातु के संपिंडन से इस्पात के काय में जगह-जगह पुल बन जाते हैं, जिसके फलस्वरूप एक से अधिक पाइप बन जाते हैं।

(२) शीर्ष स्फारित मोल्ड

इन मोल्डों में शीर्ष का तलक्षेत्र अधिक होने के कारण इस्पात का संपिंडन दीवारों और मोल्ड के नितल से प्रारंभ होकर भीतर और ऊपर की ओर बढ़ता है। इस कारण धातु के आकुंचन से पाइप इन्गट के शीर्ष पर बनता है। अशुद्धियों का एकत्रन भी इसी क्षेत्र में सीमित रहता है तथा नीचे का सभी भाग दोषरहित रहता है। इन मोल्डों पर बहुधा अग्नि-

चित्र ५८—इस्पात प्रपूरण के लिए उपयुक्त विविध मोल्ड

रोधक अस्तर वाले गरम उद्ध[1] रख दिये जाते हैं। प्रपूरण में इन उद्धों के शीर्ष तक इस्पात भर दिया जाता है। अग्निरोधक अस्तर होने के कारण उद्धों से ऊष्मा का ह्रास होने की गति कम रहती है और इनमें भरा इस्पात बहुत समय तक द्रव दशा में बना रहता है। संपिडन में आकुंचन होने पर मोल्ड में धातु की पूर्ति उद्ध में भरे गलित इस्पात से होती रहती है। इस प्रकार आकुंचन कोटर उद्ध में ही सीमित हो जाता है, जिससे अपेक्षाकृत बहुत कम इस्पात की हानि होती है। चित्र ५८ में ऊपर चौड़े, नीचे चौड़े और उद्धयुक्त ऊपर चौड़े मोल्ड दिखाये गये हैं। नीचे चौड़े मोल्डों के शीर्ष पर उद्ध लगाने से विशेष लाभ नहीं होता, कारण कि धातु के संपिडन में जगह-जगह पुल बन जाने से पाइपों का निर्माण नहीं रुकता।

नितल और शीर्ष-स्फारित मोल्डों के हानि-लाभ

(१) ऊपर चौड़े मोल्डों में अशुद्धियों का एकत्रन और पाइप का निर्माण इन्गट के शीर्ष तक सीमित रहता है। गरम उद्ध का उपयोग कर इस्पात की हानि बहुत कम की जा सकती है। नीचे चौड़े मोल्डों में पाइपों का निर्माण और अशुद्धियों का एकत्रन इन्गट (पिंडक) के काय के मध्य में होता है।

(२) ऊपर चौड़े इन्गटों का ऊपरी हिस्सा काट देने से शेष भाग दोषरहित इस्पात का बच रहता है। नीचे चौड़े इन्गटों से पाइप अलग नहीं किये जा सकते।

(३) ऊपर चौड़े मोल्डों में गरम उद्ध लगाना आवश्यक हो जाता है, अन्यथा पाइप की रचना इन्गट के सर्वाधिक चौड़े भाग में होने से इस्पात की लब्धि बहुत कम हो जाती है। इस प्रकार ऊपर चौड़े मोल्डों का उपयोग अधिक महँगा पड़ता है।

१. Top

(४) ऊपर चौड़े मोल्डों के उपयोग में लाभ होने पर भी व्यावसायिक इस्पातों के उत्पादन में, सस्ते होने के कारण, नीचे चौड़े मोल्डों का अधिक उपयोग होता है। उच्च अर्हता वाले इस्पातों के उत्पादन में गरम उद्धयुक्त ऊपर चौड़े मोल्डों का उपयोग किया जाता है। सभी प्रकार के इस्पातों की विशेषिकाएँ दिन प्रतिदिन अधिक परिदृढ़ होती जा रही हैं, इस कारण इसमें संदेह नहीं कि भविष्य में इन्गटों के उत्पादन में ऊपर चौड़े मोल्डों का उपयोग बढ़ेगा। नितल प्रपूरण में गरम उद्धयुक्त ऊपर चौड़े मोल्डों का उपयोग किया जाता है।

(५) मोल्ड से इन्गट के अपखंडन में नीचे चौड़े मोल्ड सुविधाजनक होते हैं। इनमें मोल्ड को फँसाकर खींच लिया जाता है। ऊपर चौड़े मोल्डों में इन्गट को बाँधकर खींचना पड़ता है। शीर्ष स्फारित मोल्डों में इस्पात की संपिडन की गति अधिकतम अनुप्रस्थ खंड के अर्ध की समानुपाती होती है। अतः २० इंच अनुप्रस्थ खंड वाली इन्गट के संपिडन में $(१०)^२$ अर्थात् १०० मिनट और ३० इंच वाली इन्गट के संपिडन में $(१५)^२$ अर्थात् २२५ मिनट लगेंगे। संपिडन में अधिक समय लगने से अशुद्धियों के एकत्रन की प्रवृत्ति बढ़ जाती है। इसी कारण टूल और उच्च अर्हता वाले इस्पातों का उत्पादन छोटे मोल्डों में किया जाता है।

पिंडकों के दोष

मोल्डों में इस्पात के संपिडन की चर्चा करने के बाद पिंडकों में सामान्य रूप से पाये जानेवाले दोषों की विवेचना करना आवश्यक है। इनमें से कुछ दोष इस्पात के संपिडन में स्वाभाविक रूप से होते हैं, जिन्हें कम करने के प्रयत्न किये जाते हैं। अन्य दोष प्रविधि में भूल होने पर आ जाते हैं तथा सावधानी से इन्हें रोका जा सकता है। कुछ वर्षों पूर्व तक इन्गट के इन दोषों को अवश्यंभावी माना जाता था। गत बीस वर्षों में हुई शोध के फलस्वरूप यह भली प्रकार सिद्ध हो गया है कि फर्नेस में इस्पात के उचित कार्यन, अवसादन और सही मोल्ड प्ररचन

का उपयोग कर कुछ दोषों को बिल्कुल रोका जा सकता है और अन्य दोषों के प्रभावों को बहुत कम किया जा सकता है।

पाइप—द्रव इस्पात के संपिडन में आकुंचन और गैसों के निकास के कारण पाइप बनते हैं। ऊपर चौड़े मोल्डों में पाइप इन्गट के शीर्ष तक ही सीमित रहता है। नीचे चौड़े मोल्डों में आकुंचन से बने पाइप के अतिरिक्त गैसों के निकास और इस्पात के आकुंचन से इन्गट के काय में अन्य कोटर बन जाते हैं, जिन्हें 'गौण पाइप' कहते हैं।

पाइप की उपस्थिति इस्पात को अशक्त और दोषयुक्त बनाती है। इन्गट के बेलन में यह खोखलापन समापित वस्तुओं में विद्यमान रहकर उन्हें कठिन तनावों को सँभालने के अयोग्य बनाता है। इन्गट के यांत्रिक कार्यन में अनाक्सीकृत कोटर रोलों के दबाव से संधानित होकर संमुद्रित हो जाते हैं, परन्तु आक्सीकरण होने पर खोखलापन बराबर बना रहता है। पाइप का अधिकांश भाग सामान्यतः आक्सीकृत होने के कारण काटकर अलग करना आवश्यक है। उच्च अर्हता वाले इस्पातों में गरम उद्धयुक्त ऊपर चौड़े मोल्डों का उपयोग किया जाता है और शीर्ष को काटकर पाइप को अलग कर दिया जाता है। इस्पात के आकुंचन के कारण पाइप का निर्माण होना स्वाभाविक है, परन्तु इस दोष से समापित इन्गट को न बचाने से दुर्घटनाओं और विफलता की संभावना बहुत बढ़ जाती है। इस्पात का पूर्ण हनन कर गौण पाइपों का निर्माण रोका जा सकता है।

धमन छिद्र—गलित इस्पात में कार्बन मोनाक्साइड, नाइट्रोजन, कार्बन डाई आक्साइड और हाइड्रोजन गैसें विलयित रहती हैं। धातु में विद्यमान लगभग सभी आक्सीजन FeO के रूप में रहती है। ठोस इस्पात में गैसों की घुलनशीलता बहुत कम होने के कारण और FeO तथा कार्बन की प्रक्रिया के फलस्वरूप, इस्पात के संपिडन में इन गैसों का निकास होता है। इस्पात के काय में निकासित गैसों के पाशन से धमन छिद्र बन जाते हैं। कम कार्बन इस्पातों में सामान्यतः धमन छिद्र अधिक बनते

हैं। उच्च कार्बन इस्पातों की तुलना में धातु में अधिक आक्सीजन की उपस्थिति इसका प्रधान कारण है।

संपिडन में निकासित गैसें अपचायक या तटस्थ प्रकृति की होने के कारण इन्गट के काय में बने धमन छिद्रों का आक्सीकरण नहीं हो पाता। बेलन[1] में ये छिद्र 'दबाव संधानित' हो जाते हैं। धमन छिद्रों के कारण इस्पात के आकुंचन कोटर की परिमा कम हो जाती है। पूर्ण हत इस्पातों में धमन छिद्रों का अभाव होने के कारण आकुंचन कोटर की परिमा अधिक होती है। इसी कारण ०·२५ प्रतिशत से अधिक कार्बन वाले इस्पातों को नीचे चौड़े मोल्डों में प्रपूरित करने के लिए पूर्ण हत नहीं किया जाता।

पिंडक के काय में धमन छिद्रों की स्थिति बहुत महत्त्वपूर्ण है। पिंडक के काय में गहरे स्थित धमन छिद्र रोलन में संमुद्रित हो जाते हैं, परन्तु सतह के निकट वाले धमन छिद्र आक्सीकृत होकर इन्गट और उससे उत्पादित वस्तुओं की सतह कृतता[2] खराब कर देते हैं; बेलन में दीर्घित होकर उत्पादों की सतह पर लम्बी सीवनों के रूप में आ जाते हैं। धमन छिद्रों का नियंत्रण इस्पात के अनाक्सीकरण और गैसीय निकास को समंजित कर किया जाता है।

अन्तर्भूत—अधातुकीय अंतर्भूतों का इस्पात में समावेश अनेक स्रोतों से होता है। अनाक्सीकरण उत्पाद जो धातु की सतह तक नहीं उठ पाते, पाशित होकर अन्तर्भूत बन जाते हैं। इनमें SiO_2 और Al_2O_3 के पाशन से बने अंतर्भूत विशेष उल्लेखनीय हैं। ये आक्साइडें इस्पात में अविलेय और अगलनीय होती हैं। इनके छोटे-छोटे कण इस्पात में जहाँ तहाँ पाशित रह जाते हैं।

अंतर्भूत फर्नेस के मल अथवा तंदूर, लेडिल इत्यादि के अग्निरोधकों

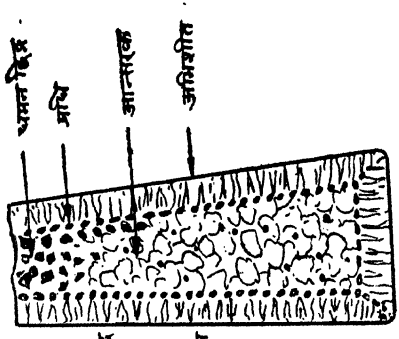
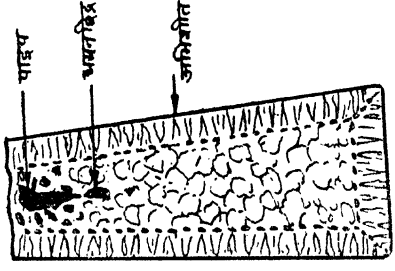
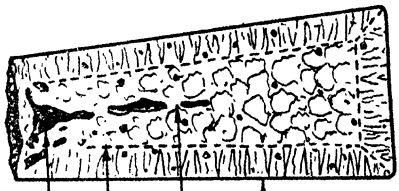
१. Rothing २. Finish

के टुकड़ों के पाशन से भी बन जाते हैं। इस्पात के नितल प्रपूरण में वाहक नलिकाओं से अग्निरोधकों के टुकड़े निकलकर अन्तर्भूतों को जन्म देते हैं। इन स्रोतों से अन्तर्भूतों को रोकने के लिए बहुत सावधानी आवश्यक है।

अन्तर्भूतों का इन्गट के काय में वितरण महत्त्वपूर्ण है। उनका वितरण सम होना वांछनीय है। अंतर्भूतों का एकत्रन होने पर धातु की अखंडता[1] भंग हो जाती है और यहाँ से आन्तरिक दरारों का प्रारंभ होता है। अनाक्सीकरण और अवसादन प्रविधि पर समुचित नियंत्रण रखकर अन्तर्भूतों की मात्रा कम की जा सकती है। अनाक्सीकरण के लिए दो या अधिक अनाक्सीकरों का उपयोग (जिससे बनने वाले अनाक्सीकरण उत्पाद सुगलनीय हों), अनाक्सीकरण के बाद उत्पादों को ऊपर उठने के लिए पर्याप्त समय, मोल्डों में अनाक्सीकरण के लिए एल्यूमिनियम का कम उपयोग और लेडिल, त्रोटन ओष्ठ इत्यादि में अग्निरोधक अस्तर लगाते समय सावधानी रखकर अन्तर्भूतों की मात्रा में बहुत कमी लायी जा सकती है।

इन्गटन—इस्पात के संपिडन में शीतलन की गति शिथिल होने पर धातु के बड़े मणिभों का निर्माण होता है। शीतलीकरण की गति जितनी शिथिल होगी, मणिभों की परिमा उतनी ही बड़ी होगी। बड़े **मणिभों के** निर्माणदोष को 'इन्गटन' कहते हैं। रोलिंग (बेलन) में बड़े मणिभों के फटने की प्रवृत्ति रहती है। इस कारण रोलिंग में ऐसी बनावट वाले इन्गट का प्रारम्भ में हलका लघ्वन किया जाता है, अन्यथा मणिभ परस्पर फट जाते हैं। रोलिंग में बड़े मणिभ खंडित होकर छोटे हो जाते हैं और इस प्रकार समापित उत्पादों में इन्गटन का प्रभाव मिट जाता है।

इन्गट में बने मणिभों का विशेष अनुस्थापन[2] चित्र से स्पष्ट होता है। इस प्रकार इन्गट में अशक्ति के समित्र बन जाते हैं जहाँ से रोलिंग में इन्गट में दरारें पड़ने की संभावना रहती है। इस्पात के संपिडन में बनने

१. Continuity २. Orientation

चित्र ५८ क—इन्गट में बने मणिभों का विशेष अनुस्थापन (पृ० २४२)

वाले मणिभ मोल्ड की दीवारों पर लम्ब रूप बनते हैं। अतः यदि मोल्ड का प्ररचन बिल्कुल चौकोर हो तो अशक्ति समित्रों[1] का निर्माण मोल्ड की दीवारों से ४५° पर होगा। इन्गटन की इस प्रवृत्ति को कम करने के लिए मोल्डों के प्ररचन में तीक्ष्ण कोण नहीं रखे जाते, उन्हें गोलाई लेकर बनाया जाता है। वलयित मोल्डों का उपयोग कर इन्गटन को बहुत कम किया जा सकता है। वलयन से मोल्डों का तल-क्षेत्र बढ़ने के कारण ऊष्मा की हानि होने की गति बढ़ जाती है और तीक्ष्ण कोण न होने से अशक्ति समित्र नहीं बन पाते।

एकत्रन—इस्पात के संपिडन में कार्बन, मैंगनीज, फास्फोरस और गंधक का एकत्रन होता है। पहले संपीडित होनेवाले मणिभ अपेक्षाकृत शुद्ध होते हैं तथा सुगलनीय अशुद्धियाँ द्रव भाग में एकत्रित होती जाती हैं। इस प्रकार सबसे बाद में संपीडित अंश में अशुद्धियों का सर्वाधिक एकत्रन रहता है। हत इस्पातों में यह प्रवृत्ति अपेक्षाकृत कम और प्रधि इस्पातों में सबसे अधिक रहती है।

सतह दोष—उपर्युक्त दोषों के अतिरिक्त इन्गटों की सतह पर अनेक दोष पाये जाते हैं। प्रपूरण में उड़े आक्सीकृत धातु के छींटे इन्गट (पिंडक) की सतह पर चिपक जाते हैं और रोलिंग के बाद उत्पादों की सतह पर स्केबों[2] के रूप में प्रकट होते हैं। इसी प्रकार मोल्डों की भीतरी सतह रूक्ष होने पर इन्गट की सतह ऊबड़-खाबड़ हो जाती है। रोलिंग में ऊपर उठे भाग दबकर उत्पादों की सतह पर धारियाँ और चट्टे बना देते हैं। मोल्ड में संपिडन के समय तापीय तनावों के कारण इन्गट की सतह पर दरारें बन जाती हैं। मोल्ड का प्ररचन और ताप, इस्पात का ताप और प्रपूरण विधि इत्यादि घटकों पर इन्गट का दरारित होना निर्भर रहता है।

इंगटों में उपर्युक्त दोष रोकने का प्रयत्न सावधानीपूर्वक किया जाना

१. Plane समतल   २. Scab

चाहिए, अन्यथा वे व्यवहार के अयोग्य हो जाते हैं। कुछ दोषों को बिल्कुल रोका जा सकता है, अन्य स्वाभाविक दोषों को उचित प्रविधि द्वारा कम से कम हानिकर बनाया जाता है।

(पिंडकों) इन्गटों का अपखंडन[१]

इस्पात के प्रपूरण के बाद धातु को मोल्डों में संपीडित[२] होने दिया जाता है। इन्गटों की मोटी सतह संपिंडित[३] होने पर, उन्हें मोल्ड से अलग किया जाता है। इन्गटों को मोल्डों से अलग करने के इस प्रकार्य को अपखंडन कहते हैं। इस समय इन्गट का भीतरी भाग द्रव दशा में रहता है। ऊष्मा की हानि बचाने के लिए प्रपूरण के बाद जल्दी से जल्दी अपखंडन किया जाता है।

नीचे चौड़े मोल्डों का अपखंडन सुविधाजनक होता है। अपखंडन यंत्र के हनु[४] मोल्ड की मूठों को ऊपर उठाते हैं और इसी समय एक मूसल पिंडक को अपने स्थान पर दृढ़ता से दबाये रखता है। इस प्रकार मोल्ड ढीला होकर ऊपर उठ आता है। ऊपर चौड़े मोल्डों का अपखंडन कठिन होता है। इनमें इन्गट को खींचकर मोल्ड के बाहर निकालना पड़ता है। ऊपर चौड़े मोल्डों के साथ गरम उद्ध का उपयोग किया जाता है। उद्ध का अग्निरोधक वलय तोड़कर इन्गट के शीर्ष को पकड़कर ऊपर खींचा जाता है, तथा मोल्ड को दबाकर अपने स्थान पर रखा जाता है। अब इन्गटों को गरम करने और उनका ताप सम करने के लिए 'सोखन कूपों' में रखा जाता है।

सोखन कूपों में इन्गटों का तापन

बेलन या तापकुट्टन द्वारा इन्गट का आकारन करने के पूर्व धातु को उपयुक्त कार्यन-ताप तक गरम करना आवश्यक है। साथ ही इन्गट की पूर्ण

१. Stripping २. Compressed ३. Solidified ४. Jaw

संहति[1] का ताप सम होना चाहिए। इन्गट को मोल्ड से अलग करने पर उसके अन्तर्भाग का ताप अधिक और बाह्य भाग का ताप कम रहता है। ताप की यह असमता इन्गट को सोखन कूप में गरम कर अलग की जाती है। नीचे चौड़ें पिंडकों का अपखंडन करते समय उनका अन्तर्भाग तरल रहता है। कार्यन के पहले उन्हें सोखन कूपों में रखकर संपीडित किया जाता है। सोखन कूप से निकलने के बाद इन्गट की कुल ऊष्मा प्रवेश के समय विद्यमान ऊष्मा से कम हो जाती है। इस प्रकार सोखन कूपों की तापीय निष्पत्ति ऋणात्मक[2] रहती है। इस्पात के उत्पादन में सोखन कूप ही संयंत्र का ऐसा विभाग है जहाँ ताप का ह्रास करने के लिए ऊष्मा का संभरण किया जाता है। सोखन कूपों से निकलनेवाले पिंडक का भीतरी और बाहरी ताप सम हो जाता है।

कभी कभी मिल में विभंजन[3] होने पर इन्गटों को शीतल करना आवश्यक हो जाता है। ऐसी दशा में गरम इन्गट को राख, रेत या अन्य ताप-रोधक पदार्थों में तोप दिया जाता है। इस प्रकार इन्गट धीरे धीरे ठंडा होता है। यदि यह सावधानी न रखी जाय तो इतनी बड़ी धातु-संहति में तापीय तनावों के कारण दरारें पड़ जाती हैं। शीतल इन्गट को गरम करने की गति भी बहुत धीमी रखी जाती है। लगभग आठ से दस घंटों में इन्गट को बेलन ताप तक गरम किया जाता है। इन्गटों को शीतल और पुनः गरम करने पर उनमें दरारें पड़ने की आशंका रहती है। इस कारण अपखंडन के बाद उन्हें शीघ्रातिशीघ्र सोखन कूपों में तापित किया जाता है। अनिवार्य होने पर ही इन्गटों का शीतलन किया जाता है।

सोखन कूप

इन्गटों का ताप सम करना सोखन कूपों का प्रधान कार्य है। अग्निरोधक

१. Mass २. Negative ३. Breakdown

अस्तर वाले कूपों में ईंधन का दहन कर उच्च ताप रखा जाता है। आधुनिक समय में विभिन्न प्रचनावाले सोखन कूपों का उपयोग किया जाता है। उच्च ताप प्राप्त करने के लिए एक प्रकार के कूपों में पुनर्जनन सिद्धान्त का उपयोग किया जाता है। यह विधि विवृत तंदूर फर्नेसों में उच्च ताप प्राप्त करने के समान पुनर्जनक वेश्मों का उपयोग करती हैं, जिसमें दहन के पूर्व वायु और गैस पूर्व तापित होती है। दूसरे प्रकार की प्रचना में पुनरापण[1] सिद्धान्त का उपयोग कर उच्च ताप प्राप्त किया जाता है। इसमें दहन उत्पाद चिमनी की ओर प्रवाहित होते समय लगातार वायु और ईंधन का पूर्वतापन करते हैं। कोक ओवन गैस, प्रवात फर्नेस गैस और कोक ओवन गैस का मिश्रण, उत्पादक गैस, ईंधन तैल इत्यादि का दहन कर सोखन कूपों में ताप का उद्भव किया जाता है।

सोखन कूप का अस्तर फायर ईंटों का बनाया जाता है। स्केल द्वारा होनेवाला संक्षय कम करने के लिए नितल[2] में ऊपर की दीवारों का कुछ भाग क्रोम ईंटों का बनाया जाता है। इन्गटों की सतह से गिरनेवाला चोया सोखन कूपों के ताप पर द्रव दशा में रहता है। कूप में अपचायक वातावरण रखने और स्केल से नितल की रक्षा करने के हेतु कोक बजरी की परत बिछा दी जाती है। यह मसनद का काम करती है और इन्गटों के धक्के से नितल का बचाव करती है। सोखन कूपों में इन्गटों को उदग्र दशा में रखा जाता है। इस प्रकार रखने से तापन के लिए अधिक तल-क्षेत्र उपलब्ध होता है, जिससे इन्गट (पिंडक) शीघ्रतापूर्वक तापित होता है। सोखन कूपों में रखते समय इन्गट का अंतर्भाग द्रव दशा में रहता है। यदि इन्गट को सोखन कूप में आड़ा रखा जाय तो पाइप की स्थिति बदलने से इन्गट खराब हो सकता है।

सोखन कूप का शीर्ष पहिये वाले आवरण से ढँका रहता है। इसमें

१. Recuperation   २. Bottom

भी अग्निरोधक अस्तर लगा रहता है। आवश्यकता होने पर पहियों पर चलाकर आवरण को हटाया जाता है। सोखन कूपों में इन्गटों का ताप इस्पात के रासायनिक समास, इन्गट की परिमा और रोलिंग में होनेवाले कार्य की मात्रा पर निर्भर रहता है। सामान्यतः रोलिंग ताप का परास १०६० से १२६०° से० तक रहता है। इन्गट का ताप अधिक होने पर उसके कार्यन में सरलता होती है और शक्ति का व्यय कम होता है। इस कारण इन्गटों की रोलिंग अधिकतम ताप पर की जाती है। इस समय यह ध्यान रखना आवश्यक है कि ऐसा करने में धातु अति तापित न हो जाय, अन्यथा उसके गुणों पर बुरा प्रभाव पड़ता है। अति उच्च ताप पर रोलिंग में इन्गटों में दरार पड़ने की प्रवृत्ति रहती है। उच्च ताप पर इन्गट में एकत्रित अशुद्धियाँ द्रवित होने पर रोलिंग में इस्पात टूटने लगता है।

सोखन कूपों में इन्गटों को तापित करते समय अनेक बातों का ध्यान रखना चाहिए। इन्गटों का ताप इस प्रकार नियंत्रित किया जाना चाहिए कि धातु की पूर्ण संहति में सम ताप हो। अधिक उच्च ताप पर इस्पात जल जाता है—उसके यव (कण) आक्सीकृत हो जाते हैं, जिससे रोलिंग में इन्गट फटने लगता है। ताप कम होने पर रोल टूटते हैं, अधिक शक्ति का व्यय होता है और कई प्रकार के यांत्रिक दोष आ जाते हैं।

अध्याय १४

इस्पात का आकारन[1]

इस्पात को विभिन्न आकार देने के लिए प्रयुक्त क्रियाओं को हम दो प्रमुख वर्गों में रख सकते हैं—

(१) गलित इस्पात को निश्चित आकार के रेत मोल्डों में डालकर संवपनों का उत्पादन।

(२) इन्गटों का विभिन्न क्रियाओं द्वारा यांत्रिक कार्यन।

इस्पात के अवयव के आकार, परिमा और होनेवाले उपयोग पर आकारन विधि निर्भर रहती है। यांत्रिक विधियों द्वारा बहुत बड़े या संजटित[2] अवयव नहीं बनाये जा सकते। एक प्रकार के अवयवों की सीमित संख्या का उत्पादन भी ढलाई द्वारा किया जाता है। कुछ विशिष्ट रासायनिक समासों के इस्पात, जैसे निकेल, एल्यूमिनियम और निकेल-एल्यूमिनियम-कोबाल्ट चुम्बकीय इस्पात बेलित या तापकुट्टित नहीं किये जा सकते। उनके विभिन्न आकार ढलाई द्वारा बनाये जाते हैं। बहुत बड़े और संजटित अवयवों के अतिरिक्त अन्य आकार विभिन्न यांत्रिक क्रियाओं द्वारा बनाये जाते हैं। साधारणतः कम संख्या में अवयवों का उत्पादन ढलाई द्वारा सस्ता पड़ता है।

इस्पात के यांत्रिक प्ररूपण द्वारा विभिन्न आकारों का उत्पादन करने में उनके गुणों पर सुप्रभाव पड़ता है। यांत्रिक कार्यन से इस्पात की शक्ति

१. Shaping २. Complicated

और तन्यता बढ़ जाती है, धमन छिद्र संमुद्रित हो जाते हैं, एकत्रन कम हो जाता है और मणिभों की परिमाएँ टूटकर छोटी हो जाती हैं। इस प्रकार समापित उत्पाद की अर्हता सुधर जाती है। ढलाई द्वारा उत्पादित संवपनों में संपिडन के समय आनेवाले सभी दोष कम या अधिक मात्रा में होते हैं। इन दोषों की चर्चा हम अध्याय १३ में इन्गटों के संपिडन का वर्णन करते समय कर चुके हैं। संवपनों का तापोपचार कर इन दोषों का प्रभाव कम किया जाता है।

इस्पात संवपनों का उत्पादन

इस्पात संवपनों के उत्पादन के पूर्व आकारों के नीलमुद्र[1] बनाये जाते हैं। इनमें संवपन का रूप, परिमा, कोटर इत्यादि विस्तृत रूप से दर्शाये जाते हैं। नीलमुद्रों के आधार पर लकड़ी में संवपन[2] के आकार के प्रतिक्रम[3] बनाये जाते हैं। सीधे आकारों का उत्पादन एक बार में किया जा सकता है। संजटित आकारों को निर्मित करने में एक से अधिक प्रतिक्रमों की आवश्यकता पड़ सकती है। उचित आकार और परिमा वाले प्रतिक्रमों पर संवपन के उत्पादन की सफलता निर्भर रहती है। यदि प्रतिक्रम ही गलत बना हो, तब ठीक संवपन का उत्पादन नहीं किया जा सकता।

प्रतिरूप[3] की सहायता से रेत में उपयुक्त आकार का मोल्ड बनाया जाता है। मोल्ड में जो स्थान धातु से खाली रखना हो अथवा कोटर बनाना हो वहाँ कोर लगायी जाती है। मोल्ड बनाने के लिए प्रयुक्त रेत में कई गुण होने चाहिए। मोल्डन रेत अग्निरोधक होनी चाहिए, जिससे द्रव इस्पात के सम्पर्क में आकर वह गलित न हो; उसमें प्रतिक्रम का सही आकार लेने की क्षमता के साथ संपिडन में निकली गैसों को निष्कासित करने के लिए पर्याप्त वेध्यता रहना आवश्यक है। मोल्ड में द्रव इस्पात डालने

१. Blueprints २. Casting ३. Pattern

पर उसके दबाव को सहने की शक्ति न होने से मोल्ड जहाँ तहाँ खंडित हो जायगा। भिन्न प्रकार के संवपनों के उत्पादन में अलग अलग मोल्डन रेत समासों का उपयोग किया जाता है।

मोल्ड की प्ररचना और इस्पात के प्रपूरण ताप पर संधानक की सफलता निर्भर रहती है। संवपनों के उत्पादन में प्रयुक्त इस्पात में तरलता आवश्यक है, जिससे इस्पात प्रवाहित होकर मोल्ड के विभिन्न भागों में पहुँच सके। आकुंचन कोटरों का निर्माण रोकने के लिए मोल्ड में कई स्थानों पर प्रदाय शिरों की व्यवस्था होनी चाहिए। इस्पात के संपीडित होने पर मोल्ड को तोड़कर संवपन को निकाला जाता है। इस समय उसके साथ बहुत रेत चिपकी रहती है। इसे अलग कर धातु के अनावश्यक अंगों को काटकर अलग कर दिया जाता है।

संवपनों का तापोपचार कर उनके गुणों में सुधार आधुनिक संधानियों में सामान्य प्रविधि बन गयी है। संवपनों को अभितापित[1] कर संपिडन तनावों को उन्मोचित किया जाता है, मणिभीय बनावट के परिष्करण से धातु की तन्यता और आघात-सह-क्षमता बढ़ जाती है। मणिभीय बनावट को और अधिक परिष्कृत करने के लिए संवपनों का सामान्यीकरण[2] किया जाता है, जिससे यन्य बिन्दु[3] और वितान शक्ति बढ़ जाती है। जिन संवपनों में एक भाग की मोटाई से दूसरे भाग की मोटाई में अधिक अंतर होता है, उनका सामान्यीकरण नहीं किया जाता, कारण कि उनमें दरार पड़ने की संभावना रहती है। संवपनों को फर्नेस में Ac_3 विंदु से लगभग ५०° से० अधिक ताप पर कई घंटों तक रखा जाता है, जिससे सम्पूर्ण संहति का ताप सम हो जाय। अभितापन में संवपनों को फर्नेस में ही धीरे धीरे शीतल होने दिया जाता है। सामान्यीकरण समुचित ताप सोखन के बाद संवपन को फर्नेस के बाहर निकालकर वायु में ठंडा किया जाता है। वायु में ताप के ह्रास

१. Anneal २. Normalisation ३. Yield point

की गति अधिक होती है। इस्पात तापोपचार के सिद्धान्तों की चर्चा अध्याय १५ में विस्तारपूर्वक की गयी है। इनका उपयोग कर इस्पात के गुणों को संवर्धित किया जाता है। संवपनों के उपयोग के पहले भली प्रकार निरीक्षण और समापित परिमा प्राप्त करने के लिए यंत्रन किया जाता है।

इस्पात का प्ररूपण

प्ररूपण विधियों को दो वर्गों में रखा जा सकता है—

(१) गरम कार्यन

(२) शीतल कार्यन

इस्पात के प्ररूपण में दोनों विधियों का महत्त्वपूर्ण स्थान है। अनेक धातुओं के लिए यह वर्गीकरण केवल सापेक्ष रहता है, परन्तु इस्पात में परिवर्त बिन्दुओं[1] के कारण इसका विशिष्ट अर्थ है।

गरम कार्यन

कार्य कठोरन परास के ऊपर इस्पात के विरूपण को गरम कार्यन कहा जाता है। कार्बन और मेलीय तत्त्वों की मात्रा के आधार पर गरम करने के कार्य का प्रारंभ १२५० से १०५०° से० पर किया जाता है। इस ताप परास में इस्पात 'आस्टेनाइट' ठोस विलयन के रूप में रहता है।

गरम कार्यन से इस्पात के काय में विद्यमान अनाक्सीकृत धमन छिद्र बंद हो जाते हैं, और विसरण के फलस्वरूप अशुद्धियों का एकत्रन घट जाता है। संपिंडन में बने धातु के बड़े और एक दिशा में अनुस्थापित मणिभों के स्थान में छोटे परिष्कृत मणिभ बन जाते हैं। इस्पात का तापन बहुधा अवर अश्रि-बिन्दु[2] ताप के ऊपर समाप्त कर दिया जाता है। उच्च कार्बन इस्पातों में ताप-अश्रि परास से अधिक होने पर यव परिबन्ध[3]

१. Transformer point २. Critical point ३. Boundary

पर भंगुर सीमेन्टाइट का अवक्षेपण होने लगता है। इसे रोकने और सीमेन्टाइट का अवक्षेपण सुवितरित वर्तुलों के रूप में करने के लिए उच्च कार्बन इस्पातों का तापन अवर अश्रि-ताप तक किया जाता है। इस प्रकार अवर अश्रि-ताप गरम कार्यन की अंतिम सीमा मानी जाती है।

गरम कार्यन में इस्पात की सतह आक्सीकृत होने से चोया बनता है और शीतलीकरण में धातु आकुंचित होती है। इस कारण इस्पात के अनेक अवयव अच्छा रूप लाने के लिए शीतन द्वारा समापित किये जाते हैं। कुछ इस्पात की वस्तुओं का अंतिम प्ररूपण गरम कार्यन द्वारा किया जाता है। जैसे धरना, रेल की पाँतें इत्यादि गरम कार्यन द्वारा ही समापित की जाती हैं।

शीतल कार्यन

इस्पात का शीतल कार्यन सामान्यतः वायु ताप पर किया जाता है। इस्पात को २००–४००° से० ताप परास में कार्यित नहीं किया जा सकता, कारण कि इस ताप परास में इस्पात की भंगुरता बहुत बढ़ जाती है। इसे 'नील भंगुर परास' कहते हैं, क्योंकि इस समय इस्पात की सतह आक्सीकृत होकर नीले रंग की हो जाती है। इस्पात का शीतल कार्यन अश्रि परास के नीचे किया जा सकता है, परन्तु यव परिमा और वैमों का अधिक अच्छा नियंत्रण प्राप्त करने के लिए यह सामान्यतः वायु ताप पर ही किया जाता है। शीतल कार्यन में इस्पात संघटकों के यव भंग हो जाते हैं, और ताप कम होने के कारण प्रत्यादान नहीं कर पाते। इस प्रकार शीतल कार्यन से इस्पात की शक्ति और कठोरता में बहुत वृद्धि और तन्यता में कमी हो जाती है। प्रत्येक पूर्वापर विरूपण धातु को और कठोर बनाता है, जिससे अंत में ऐसी स्थिति आ जाती है कि धातु को अधिक विरूपित नहीं किया जा सकता, अन्यथा अत्यधिक दबाव के कारण धातु में दरार पड़ जायगी।

इस्पात को विकारित दशा से मुक्त करने के लिए तापोपचार द्वारा यवों को पुर्ननिर्माण का अवसर दिया जाता है। तापोपचार की प्रविधि इस्पात के समास पर निर्भर रहती है। उच्च कार्बन इस्पात सामान्यतः

कम कार्बन इस्पातों की तुलना में अधिक कठोर होने के कारण अधिक शीतल कार्यित नहीं किये जाते। तापोपचार के बाद शीतल कार्यन द्वारा अतिरिक्त लघ्वन किया जाता है।

शीतल कार्यित इस्पात की शक्ति, कठोरता और समापन गरम कार्यित इस्पात की तुलना में श्रेष्ठ होते हैं। यव परिमा, वैमों[1] और सतह की समता पर उत्तम नियंत्रण होने के कारण, शीतल कार्यन अनेक उत्पादों के निर्माण में समापन प्रकार्य की भाँति प्रयुक्त होता है। चद्दर पट्टी और तार द्वारा उत्पादित वस्तुएँ शीतल कार्यन के सुपरिचित उदाहरण हैं। गरम कार्यन द्वारा इन्गट का स्थूल आकारन किया जाता है। बहुधा शीतलन में गरम की गयी वस्तुएँ टेढ़ी हो जाती हैं। शीतल कार्यन द्वारा इन्हें सीधा करना पड़ता है। संवपित दशा की अपेक्षा गरम कार्यन द्वारा इस्पात के गुणों में सुधार और परिवर्धन हो जाता है, परन्तु शक्ति, कठोरता और सतह समापन पर शीतल कार्यन का प्रभाव अधिक व्यापक होता है। यह भिन्नता धातु के ताप के कारण रहती है। गरम कार्यन ताप परास में परमाणवीय चंचलता अधिक होने के कारण धातु शीघ्रता से प्रत्यादानित[2] हो जाती है। शीतल कार्यन में परमाणवीय चंचलता बहुत कम होने के कारण यह नहीं होता, जिससे धातु स्थायी रूप से कठोर हो जाती है।

गरम कार्यन की रीतियाँ

इस्पात का गरम कार्यन निम्नलिखित तीन रीतियों द्वारा किया जाता है—

(१) अयोघनन (हैमरिंग)
(२) पीडन
(३) रोलिंग (बेलन)

१. Dimension विमा, आयाम २. Recovered

अयोघनन और पीडन रीतियों को संयुक्त रूप में तापकुट्टन या फोर्जिंग भी कहा जाता है। इस्पात के पुंजोत्पादन का अधिकांश भाग रोलिंग द्वारा प्राप्त होता है।

अयोघनन फोर्जन—धातुओं का आकारन[1] करने की यह विधि काफी पुरानी है। आधुनिक समय में वाष्प संचालित अयोघन[2] उपयोग में लाये जाते हैं। वाष्प की मात्रा समंजित कर अयोघन का प्रहार बल नियंत्रित किया जाता है। विभिन्न अयोघनों का वर्गीकरण, उनके प्रहार-बल के आधार पर किया जाता है। उदाहरणार्थ ५ टन का प्रहार देनेवाले अयोघन को ५ टन अयोघन कहा जायगा। सामान्यतः ५० टन से अधिक प्रहार-बल वाले अयोघन उपयोग में नहीं लाये जाते, क्योंकि प्रहार के धक्कों से संयंत्र के अन्य यंत्रों का एकरेखण[3] खराब हो जाता है।

अयोघनन द्वारा निश्चित आकार के अवयव बनाने के लिए डाइयों का उपयोग किया जाता है। ये डाइयाँ मेल इस्पातों को यंत्रित और तापोपचारित कर बनायी जाती हैं। डाइयों का प्ररचन और उत्पादन एक विशिष्ट कार्य है। इस्पात को उपयुक्त ताप पर अयोघन द्वारा प्रहारित करने में अपेक्षाकृत छोटे क्षेत्र में अधिक दबाव पड़ता है। दबाव क्षणिक होने के कारण उसका प्रभाव धातु के ऊपरी भाग तक ही सीमित रहता है, मध्य तक व्यापक नहीं हो पाता। अति गुरु प्रहार करने से धातु के मध्य में संमुद्रित कोटर खुलने का भय रहता है। इस प्रकार कुछ गुरु प्रहारों की तुलना में कम दबाव वाले अनेक प्रहारों द्वारा आकारन करना अपेक्षित रहता है।

अयोघन तापकुट्टन द्वारा उत्पादन की गति अपेक्षाकृत कम रहती है, परन्तु अनेक प्रकार के वे आकार जो सरलता से रोलित नहीं किये जा सकते, डाईयुक्त अयोघन तापकुट्टन द्वारा बनाये जाते हैं। यांत्रिक कार्यन में

१. Shaping २. लोहे का बड़ा हथौड़ा Hammer ३. Alignment

इन्गट की संवपन रचिति भंग और यव परिमा[1] का परिष्करण हो जाता है, जिससे अवयव के गुणों में बहुत सुधार हो जाता है। समुचित गुणों की प्राप्ति के लिए इस्पात का ताप, डाइयों का प्ररचन और प्रहार का बल सतर्कता से नियंत्रित किया जाना चाहिए।

पीड तापकुट्टन—अयोघनन में क्षणिक दबाव के कारण रोति की शक्ति निष्पत्ति कम होती है और धातु की पूर्ण संहति का भली प्रकार कार्यन नहीं होता। पीड तापकुट्ट में दबाव के लागन की गति धीमी होने के कारण सतह से मध्य तक धातु का समुचित कार्यन होता है। धातु-यवों के परिष्करण के साथ इस्पात में विद्यमान छिद्र और सुषिरता मिट जाती है तथा आघातों की अनुपस्थिति से यंत्रों का एक-रेखन खराब नहीं होता, निष्पत्ति अधिक रहती है और कार्यन व्यय कम पड़ता है। विभिन्न डाइयों का उपयोग कर अलग-अलग आकारों का निर्माण किया जा सकता है।

आधुनिक पीडों[2] की परिमा (साइज) ३,००० से १५,००० टन रहती है। सामान्यत: बड़े आकारों (जैसे नावीय योधन सज्जा, कवच पट्ट, बड़े चाक इत्यादि) के लिए पीड तापकुट्टन का उपयोग किया जाता है। छोटे आकारों का उत्पादन अयोघन तापकुट्टन द्वारा होता है। अयोघनन में इस्पात की सतह का चोया[3] प्रहार के कारण अलग हो जाता है, जब कि पीडन में दबाव से उसके इस्पात के काय में समाविष्ट होने की आशंका रहती है। अनेक अवयवों के उत्पादन में पीड तापकुट्टन अथवा अयोघन तापकुट्टन का उपयोग किया जा सकता है। दोनों विधियों का अपना महत्त्व और क्षेत्र होने के कारण एक को दूसरे की तुलना में श्रेष्ठ कहना कठिन है।

रोलिंग—अधिक उत्पादन गति और निष्पत्ति के कारण अधिकांश इस्पात पिण्डकों[4] को रोलिंग द्वारा आकारन दिया जाता है। रोलिंग द्वारा प्राप्त आकारों की संख्या में वृद्धि के साथ-साथ इसकी लोक-प्रियता अधिक

१. Grain size २. Press ३. Mill scale ४. Ingot

बढ़ गयी है। तापकुट्टन की तुलना में रोलिंग द्वारा आकार देना सस्ता पड़ता है। आधुनिक समय में प्रयुक्त रोलिंग मिलों की प्ररचना, प्रकार और कार्य में बहुत भिन्नता रहती है। बड़े पिण्डकों को लघ्वित कर पहले 'ब्लूम' बनाये जाते हैं। ब्लूमों को रोलित कर अन्य उत्पादों का निर्माण किया जाता है। रेल की पाँतें, गर्डर, छड़ें, कोण, पट्ट और अन्य सैकड़ों आकारों की प्राप्ति के लिए रोलों में खाँचे बनाये जाते हैं।

रोलिंग और तापकुट्टन की तुलना करते समय ध्यान में रखना आवश्यक है कि दोनों आकारन रीतियों की अपनी उपयोगिता और विशेषता है। अनेक आकार इतने संकुल होते हैं कि रोलन द्वारा उनका उत्पादन नहीं किया जा सकता। बहुत बड़े अवयवों का कार्यन भली प्रकार करने के लिए भी तापकुट्टन आवश्यक हो जाता है। रोलिंग में उत्पादन की गति अधिक होने के कारण उत्पादन मूल्य कम पड़ता है, परन्तु साथ ही द्रुतता के कारण उत्पाद पर कम नियंत्रण अपेक्षाकृत रहता है। तापकुट्टन की गति मंद रहने के कारण समाप्ति ताप भली प्रकार समंजित किया जा सकता है। तापकुट्टन द्वारा उत्पादित अवयवों में उत्पादन मूल्य का विचार गौण तथा भौतिक और यांत्रिक गुणों का विशेष महत्त्व रहता है। इस कारण तापकुट्टन विशेष सावधानीपूर्वक किया जाता है।

शीतल कार्यन रीतियाँ

शीतल कार्यन प्रमुखतः समापन प्रकार्य है। इसके पहले इन्गट (पिण्डक) का तापन कर उसका स्थूल आकारन कर दिया जाता है, जिससे धातु की रचिति का परिष्करण हो जाता है। सामान्यतः शीतल कार्यन निम्नलिखित तीन रीतियों द्वारा किया जाता है—

(१) शीतल रोलिंग

(२) शीतल पीडन

(३) शीतल उद्रेखन

शीतल रोलिंग—सामान्यतः इस्पात चादरों का शीतल रोलिंग करने

से गरम कार्यन में आयी मोच और मोड़ अलग होकर सम और पालिश-युक्त सतह की प्राप्ति होती है। चादर की शक्ति और कठोरता को शीतल रोलिंग की तीव्रता घटा-बढ़ाकर बदला जा सकता है। शीतल रोलिंग के पूर्व सतह पर बने आक्साइड को हटाने के लिए चादरों को अम्ल-मार्जित किया जाता है जिससे सतह की पालिश अच्छी रहे। शीतल रोलिंग के लिए प्रयुक्त रोल सशक्त, कठोर और चिकने रहना आवश्यक है। धातु का कार्य कठोर न होने और अधिक शक्ति की खपत के कारण शीतल रोलिंग द्वारा धातु का अधिक लघ्वन नहीं किया जाता।

शीतल पीडन—विभिन्न मुटाई की चादरें और पट्टियाँ शीतल पीडन द्वारा आकारित की जाती हैं। अलग-अलग आकार देने के लिए डाइयों का उपयोग किया जाता है। कभी-कभी तो एक अवयव का पूर्ण आकारन करने के लिए कई डाइयों की आवश्यकता पड़ती है। मोटर कार, रेल के डब्बे इत्यादि के गठन में अनेक अवयवों का आकारन शीतल पीडन द्वारा किया जाता है। शीतल पीडन में चादर या पट्टी की मुटाई में विशेष लघ्वन नहीं होता, केवल अवयव का आकारन ही होता है। इस प्रकार शीतल कार्यन की मात्रा बहुत अल्प रहती है।

शीतल उद्रेखन—तार अथवा असीवन[1] इस्पात नलियों के उत्पादन में धातु के अग्र भाग को पकड़कर बलपूर्वक डाई में से खींचा जाता है। धातु के भाग से डाई का छिद्र छोटा होता है। इस प्रकार धातु का शीतल कार्यन होता है और अनुप्रस्थ खंड में लघ्वन के साथ लम्बाई बढ़ जाती है। शीतल उद्रेखन में कठोरता बढ़ जाने के कारण बार बार धातु को अभितापित करना पड़ता है।

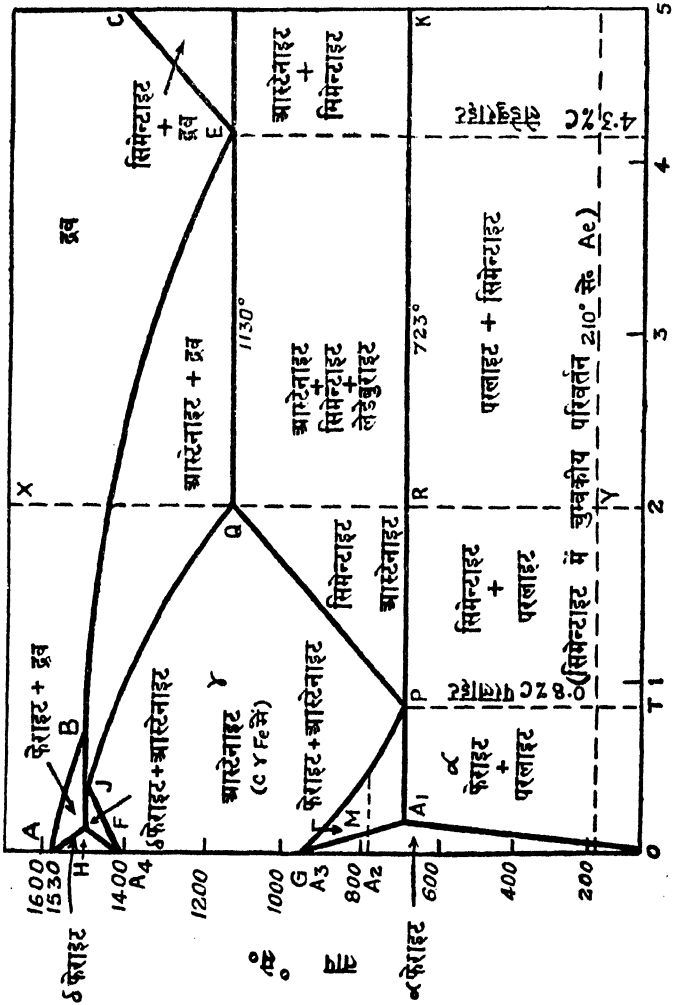
तार उद्रेखन में डाई से निकलकर तार एक वेल्ल के चारों तरफ लिपटता जाता है। इस वेल्ल[2] के घूर्णन से प्राप्त तरस्व द्वारा तार डाई में से खिंचता

१. Seamless २. Reel गिट्टी

है। स्थूल परिमाओं के लिए उच्च कार्बन या मेल इस्पातों की सुयंत्रित और भली प्रकार समापित डाइयाँ उपयोग में लायी जाती हैं। बहुत बारीक तार खींचने और सुतथ्यता रखने के लिए टंग्सटन कार्बाइड या हीरे की डाइयों का व्यवहार किया जाता है। शीतल कार्यन को यमित कर तार के भौतिक गुणों में वांछित परिवर्तन किये जा सकते हैं।

इस्पात की असीवन नलियों का उद्रेखन करने के लिए वलयाकार डाई का उपयोग किया जाता है। नली का भीतरी व्यास और आकार बनाये रखने के लिए मुख के मध्य में मेन्ड्रिल लगाया जाता है। डाई का व्यास उसमें प्रवेश करनेवाली नली से छोटा रखा जाता है। उद्रेखन से नली की लम्बाई बढ़ जाती है, मुटाई और व्यास कम हो जाता है, सतह का समापन अच्छा होता है और नली के वैम[1] अधिक सुतथ्य होते हैं।

आकारन के लिए प्रयुक्त रीतियों के अनेक संपरिवर्तनों द्वारा इस्पात की विभिन्न उपयोगी वस्तुओं का उत्पादन किया जाता है। प्रत्येक वस्तु के निर्माण की अपनी रोचक कहानी रहती है। कभी-कभी तो एक साधारण वस्तु के उत्पादन में अनेक आकारन रीतियों का उपयोग करना पड़ता है।

१: Dimension आयाम

चित्र ५९—लोह कार्बन रेखी

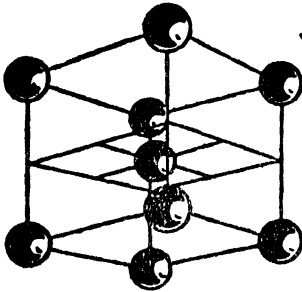
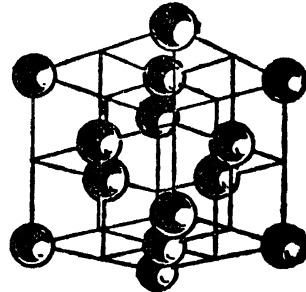
अध्याय १५

इस्पात का तापोपचार

इस्पात को सर्वतोमुखी धातु बनाने में तापोपचार द्वारा उसके गुणों में परिवर्तन और परिवर्धन का महत्त्वपूर्ण योगदान रहा है। अपेक्षाकृत मृदु, तन्य और अशक्त इस्पात को तापोपचार द्वारा कठोर और सशक्त बनाया जा सकता है। अनेक युगों से तापोपचार द्वारा इस्पात के इच्छित गुणों का विकास एक कला के रूप में किया जाता रहा है। उसके वैज्ञानिक सिद्धान्तों का स्पष्टीकरण वर्तमान काल की देन है।

लोह् के अपररूप संपरिवर्तन

शुद्ध लोह् में होनेवाले अपररूप परिवर्तनों को चित्र ५९ में स्पष्ट किया गया है। द्रवित दशा से सामान्य वायु ताप तक होनेवाले इन परिवर्तनों पर समुचित विचार करना तापोपचार के सिद्धान्तों का स्पष्ट ज्ञान करने के लिए आवश्यक है। शुद्ध लोह् १५३५° से० पर संपिंडित होता है। इस समय प्राप्त लोह् के मणिभों को डेल्टा लोह् कहा जाता है, जिसका परमाणवीय विन्यास काय केन्द्रित घनाकार होता है। चित्र ६० क में इस रूप में परमाणुओं की स्थिति दिखायी गयी है। लोह् का यह रूप १४१०° से० तक स्थायी रहता है जिसके नीचे लोह् फलक केंद्रित घनाकार (चित्र ६० ख, गामा लोह् में परिर्वातित हो जाता है। यह रूप ९१०° से० तक रहता है। गामा रूप से ९१०° से० के नीचे लोह् काय केन्द्रित घनाकार अल्फा रूप में बदल जाता है और फिर वायु ताप तक परमाणुओं के विन्यास में कोई परिवर्तन नहीं होता। लगभग ७६८° से० के ऊपर लोह् अचुम्बकीय

रहता है और इस ताप के नीचे चुम्बकत्व प्राप्त कर लेता है। इस रूपान्तर बिन्दु को क्यूरी बिन्दु कहा जाता है। इस समय प्रजाल[1] के परमाणवीय

चित्र ६० क—डेल्टा लोह का परमाणवीय विन्यास (काय केन्द्रित घनाकार)

६० ख—गामा लोह का परमाणवीय विन्यास (फलक केन्द्रित घनाकार)

विन्यास में कोई परिवर्तन नहीं होता। संभवतः परमाणुओं के इलेक्ट्रानीय पुनर्विन्यास के कारण धातु के चुम्बकीय गुण में परिवर्तन होता है। इस परिवृत का पता श्रीमती क्यूरी ने सर्वप्रथम लगाया और उनके सम्मान में तभी से यह क्यूरी बिन्दु कहा जाता है। लोह के विभिन्न अपर रूप संपरिवर्तन होनेवाले तापों को अश्रि बिन्दु[2] कहते हैं। चित्र ५९ में अश्रि बिन्दुओं का नामांकन किया गया है।

इस्पात के अश्रि बिन्दु

शुद्ध लोह में कार्बन का समावेश होने पर अश्रि बिन्दुओं की स्थिति में

१. Lattice २. Critical Point

परिवर्तन होते हैं और लगभग ७२५° से० पर एक और बिन्दु प्रकट हो जाता है। लोह में कार्बन वृद्धि के साथ द्रवणांक कम होता जाता है और अश्रि बिन्दु A_4 ऊपर उठकर द्रवणांक में विलीन हो जाता है, बिन्दु A_3 निम्नित होता है और संभवतः ०.३५% कार्बन होने पर बिन्दु A_2 में विलीन होकर द्विबिन्दु $A_{3\cdot2}$ को जन्म देता है। इस समय तक विन्दु A_2 की स्थिति में कोई परिवर्तन नहीं होता। द्विबिन्दु $A_{3\cdot2}$ बन जाने के बाद कार्बन की मात्रा और बढ़ने पर यह निम्नित होने लगता है और अन्त में लगभग ०.८% कार्बन पर A_1 में मिलकर त्रिबिन्दु $A_{3\cdot2\cdot1}$ बन जाता है। इसे पुनर्दीप्तन बिन्दु[1] भी कहते हैं। कार्बन की मात्रा और अधिक होने पर अश्रि बिन्दु Acm प्रकट होता है और कार्बन की मात्रा बढ़ने के साथ उन्नयित होता जाता है। लगभग २% कार्बन इस्पात में यह १०५०° से० पर प्रकट होता है। उपर्युक्त वर्णित अश्रि बिन्दुओं की संख्या और स्थिति का अतिरिक्त स्पष्टीकरण करने के लिए विभिन्न कार्बन युक्त इस्पातों के अश्रि बिन्दुओं पर विचार किया जायगा।

कम कार्बन इस्पात (०.१ प्रतिशत कार्बन)

अश्रि बिन्दुओं की संख्या—४

A_4 लगभग १४००° से०

A_3 लगभग ९००° से०

A_2 लगभग ७६८° से०

A_1 लगभग ७२५° से०

मध्यम कार्बन इस्पात —(०.४५ प्रतिशत कार्बन)

अश्रि बिन्दुओं की संख्या—२

$A_{3\cdot2}$ लगभग ७४०° से०

A_1 लगभग ७२५° से०

१. Recalascence

कार्बन की मात्रा की वृद्धि के साथ A_3 निम्नित होकर A_2 में विलीन हो जाता है और द्विबिन्दु $A_{3\cdot2}$ बन जाता है। शीर्ष बिन्दु A_4 द्रवणांक में मिल जाता है।

सुद्राव इस्पात[1]—(०.८ % कार्बन)

अश्रि बिन्दुओं की संख्या—१

लगभग ७२५° से० पर त्रिबिन्दु $A_{3\cdot2\cdot1}$ रहता है।

अत्य सुद्राव इस्पात—(२ % कार्बन)

अश्रि बिन्दुओं की संख्या—२

A_1 लगभग ७२५° से०

Acm लगभग १०५०° से०

अत्य सुद्राव इस्पातों में यह बिन्दु कार्बन की मात्रा के साथ ऊपर उठता जाता है और कार्बन में कमी होने पर निम्नित होकर पुनर्दीप्तम बिन्दु में विलीन हो जाता है।

सीमेण्टाइट क्यूरी बिन्दु

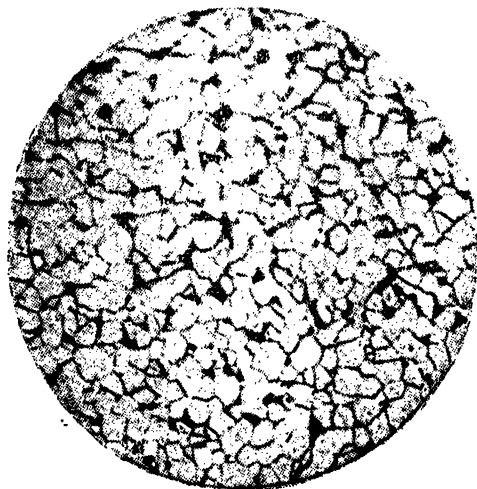
लोह कार्बन मेलों में लगभग २१०° से० के बाद इस्पात का एक घटक सीमेन्टाइट अचुम्बकीय हो जाता है और इस ताप के नीचे चुम्बकीय रहता है। इसे सीमेन्टाइट क्यूरी बिन्दु कहते हैं। यह सभी सीधे कार्बन इस्पातों में विद्यमान होता है। इस्पात के अश्रि बिन्दुओं का ज्ञान लोह कार्बन रेखी से भली प्रकार किया जा सकता है।

इस्पात के घटक

फेराइट—इस्पात में अल्फा अथवा डेल्टा लोह मणिभों को फेराइट कहते हैं। इसमें अल्प मात्रा में विभिन्न अशुद्धियाँ विलयित रहती हैं। अल्फा

१. Eutectoid

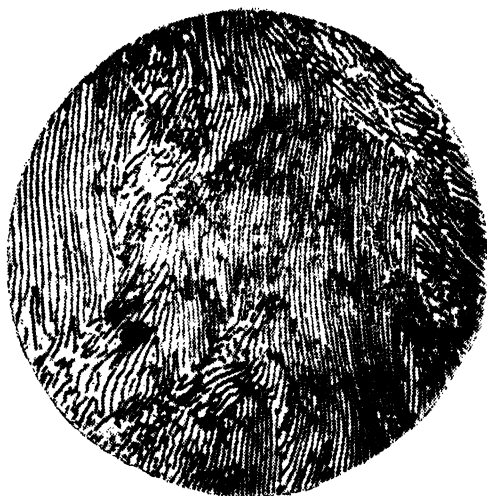
रूप में इसे अल्फा फेराइट और डेल्टा रूप में डेल्टा फेराइट कहा जाता है। इसमें परमाणवीय विन्यास काय केन्द्रित घनाकार होता है। डेल्टा फेराइट का व्यावसायिक महत्त्व न होने के कारण फेराइट से सामान्यत: अल्फा फेराइट का ही तात्पर्य निकलता है, जिसमें अधिकतम ०.०४% कार्बन ठोस दशा में विलयित रहता है।

सीमेन्टाइट—इस्पात में विद्यमान यौगिक लोह कार्बाइड (Fe_3C) को सीमेन्टाइट कहा जाता है। मैंगनीज की उपस्थिति में सीमेन्टाइट लोह

चित्र ६१—०.२% कार्बन इस्पात

और मैंगनीज का संयुक्त कार्बाइड होता है। इसमें कार्बन की मात्रा ६·६७ प्रतिशत होती है। इसके गुणों का ज्ञान अधिक नहीं है, केवल इतना विदित है कि यह सीधे कार्बन इस्पातों का कठोरतम और भंगुर घटक होता है।

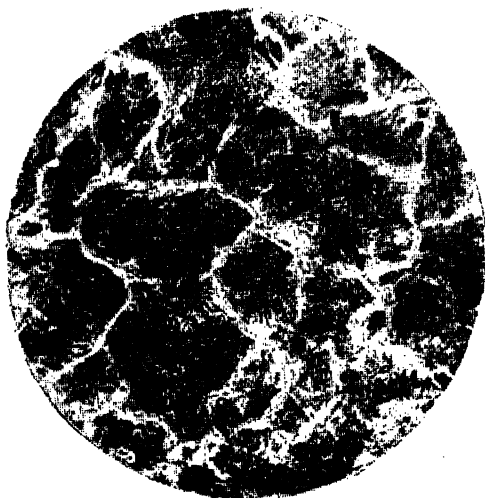
पर्लाइट—फेराइट और सीमेन्टाइट के सुद्राव को पर्लाइट कहते हैं। ०·८ प्रतिशत कार्बन इस्पात को धीरे धीरे शीतल करने पर सीमेन्टाइट और

फेराइट का पटलीय निर्माण होता है। मुद्राव समास का इस्पात पूर्णतः पर्लाइट का बना रहता है। इससे कम या अधिक कार्बन होने पर क्रमशः अतिरिक्त फेराइट अथवा सीमेन्टाइट दृष्टिगोचर होते हैं।

ऑस्टेनाइट—गामा लोह् में कार्बन के अन्तरालीय ठोस विलयन को आस्टेनाइट कहते हैं। इसमें अधिकतम २ प्रतिशत कार्बन ठोस विलयन में रह सकता है। आस्टेनाइट में लोह् का परमाणवीय विन्यास फलक केंद्रित

चित्र ६२—०.८% कार्बन इस्पात

घनाकार होता है। सीधे कार्बन इस्पातों में वायु ताप पर ऑस्टेनाइट इस्पात का घटक नहीं रहता। इसी के विबंधन से फेराइट और सीमेन्टाइट प्राप्त होते हैं।

चित्र ५ ए में शुद्ध लोह् की आणविक रचिति दिखायी गयी है। पूरी बनावट में लगभग शुद्ध लोह् के बहुतलीय यव दिखाई पड़ते हैं। इसी घटक को फेराइट कहते हैं।

चित्र ६१ में ०·२%कार्बन इस्पात की रचना[1] स्पष्ट की गयी है। इसकी बनावट में दो प्रकार के यव दिखाई पड़ते हैं—काले यव पर्लाइट और अपेक्षाकृत हलके यव फेराइट के हैं। पर्लाइट के यवों में फेराइट और सीमेन्टाइट के एकान्तरिक पटल होते हैं।

चित्र ६३—१.४% कार्बन इस्पात

चित्र ६२ में सम्पूर्ण पर्लाइट वाले ०·८%कार्बन की रचिति दिखायी गयी है।

अत्य सुद्राव[2] इस्पात की रचिति चित्र ६३ के समान दिखाई पड़ती है। इस बनावट में पर्लाइट और परिबंधों[3] पर मुक्त सीमेन्टाइट अवक्षेपित हुआ है।

१. Structure २. Hyper eutectoid ३. Boundary

लोह् कार्बन रेखी

इस्पात और बीड़ को अण्वीक्ष रचना का व्यवस्थित अध्ययन करने के लिए लोह् कार्बन रेखी आधार रूप व्यवहृत होता है। लोह् में अश्रि बिन्दुओं को उपस्थिति के कारण लोह् कार्बन मेलों का बर्ताव संकुल होता है। अ, ब, इ, स बिन्दु संहति का तरलक बनाते हैं जिनके ऊपर पूर्ण द्रव दशा रहती है। अ, ज, ख, ई और फ संहति का संपिंडक बनाते हैं, जिसके नीचे सब घटक ठोस दशा में रहते हैं।

(१) **परिद्रवण प्रक्रिया**—ख और ब के बीच में परिद्रवण प्रक्रिया होती है जिसमें डेल्टा लोह् और अवशिष्ट द्रव की प्रक्रिया से आस्टेनाइट बनता है। यह प्रक्रिया अचर ताप १४९२° से० पर होती है। लोह् के द्रवणांक के समीप होनेवाली इस परिद्रवण प्रक्रिया का कोई व्यावसायिक महत्त्व नहीं है।

(२) **सुद्रवण प्रक्रिया**—लगभग ४·३ प्रतिशत कार्बन और ११४०° से० पर सुद्रवण[1] प्रक्रिया के फलस्वरूप लेडेबुराइट की प्राप्ति होती है। यह सुद्रवण आस्टेनाइट और सीमेन्टाइट से बनता है और कुछ श्वेत बीड़ों के अतिरिक्त इसका भी कोई व्यावसायिक महत्त्व नहीं है।

(३) **सुद्राव प्रक्रिया**—लगभग ७२५° से० और ०.८ प्रतिशत कार्बन पर रेखी की बनावट सुद्रवण रूपान्तर के समान होती है। इस ताप पर गामा लोह् में कार्बन के ठोस विलयन आस्टेनाइट के विबंधन से फेराइट और सीमेन्टाइट की प्राप्ति होती है। लोह् कार्बन मेलों में इस रूपान्तर का अत्यधिक महत्त्व है। इसे इस प्रकार दर्शाया जा सकता है—

१. Eutectic

आस्टेनाइट शीतलन → ← ऊष्मन फेराइट + सीमेन्टाइट

सुद्राव समास से कम कार्बन वाले इस्पातों को उप सुद्राव और उससे अधिक कार्बन वाले इस्पातों को अत्य सुद्राव इस्पात कहा जाता है। लोह कार्बन रेखी में इस्पात के निर्वापण[1] तथा टेम्परिंग द्वारा होनेवाले परिवर्तनों का निर्देश नहीं मिलता।

अश्रि-परास

लोह कार्बन रेखी में विभिन्न कार्बन प्रतिशत वाले इस्पातों में होनेवाले रूपान्तरों का निर्देश होता है। अश्रि बिन्दु A_1 और उत्तर अश्रि बिन्दु (जो इस्पात में कार्बन की मात्रा पर निर्भर रहते हैं) के अन्तर को अश्रि परास कहते हैं। उप सुद्राव इस्पातों में क्रमशः A_3 और A_1 तथा अत्य सुद्राव इस्पातों में Acm और A_1 के अन्तर को अश्रि परास कहा जायगा। इस्पात का गरम कार्यन सामान्यतः अश्रि परास से अधिक तापमान पर प्रारम्भ कर अवर अश्रि बिन्दु के ऊपर समाप्त किया जाता है।

आस्टेनाइट का विबंधन

आस्टेनाइट के विबंधन से सीमेन्टाइट और फेराइट की प्राप्ति होती है। लोह कार्बन रेखी में ग, प, ख रेखाओं के ऊपर आस्टेनाइट स्थायी रहता है। आस्टेनाइट के विबंधन का प्रारम्भ उसमें विलयित कार्बन की मात्रा पर निर्भर रहता है। उदाहरण के लिए ०·३% कार्बन इस्पात को १०००° से० से शीतल करने पर लगभग ८५०° से० तक कोई परिवर्तन नहीं होगा।

१. Quenching

रेखा ग, प से मिलन होने पर ताप में कमी के साथ फेराइट का विलगन प्रारंभ हो जायगा और इस प्रकार अवशिष्ट ठोस विलयन में कार्बन की मात्रा बढ़ जायगी। मुक्त फेराइट का अवक्षेपण उस समय तक होता रहेगा जब तक अवशिष्ट ठोस विलयन में कार्बन की मात्रा ०.८% हो जायगी। यह स्थिति प बिन्दु द्वारा दिखायी गयी है। इस समय पर्लाइट का निर्माण होगा। ०.८% से कम कार्बन वाले इस्पातों में उपर्युक्त वर्णन के अनुसार आस्टेनाइट का विबंधन होता है। जैसे-जैसे कार्बन की मात्रा में वृद्धि होती जाती है पर्लाइट की मात्रा बढ़ती जाती है।

०.८ प्रतिशत से अधिक कार्बन इस्पातों को शीतल करने से रेखा प, ख आते ही मुक्त सीमेन्टाइट का विलगन होकर ठोस विलयन में कार्बन की मात्रा कम हो जाती है और अन्त में ताप में कमी के साथ सुद्राव समास (०.८% कार्बन) प्राप्त होने पर पर्लाइट बन जाता है। उपर्युक्त वर्णन से यह स्पष्ट है कि ०.८% कार्बन इस्पात में आस्टेनाइट का विबंधन ताप निम्नतर रहेगा और उसके रूपान्तर से केवल पर्लाइट की प्राप्ति होगी।

इस्पात के अश्रि बिन्दुओं का ज्ञान लोह कार्बन रेखी (चित्र ५९) की सहायता से भली प्रकार हो सकता है।

ऊष्मा द्वारा यवों का परिष्करण

सामान्य दशा में विद्यमान इस्पात को ऊष्मित करने से उसकी यव-रचना में Ac_1 बिन्दु तक कोई परिवर्तन नहीं होता। इस ताप पर पर्लाइट के यव आस्टेनाइट में बदल जाते हैं। इस समय सुद्राव समास वाले इस्पात का अधिकतम परिष्करण हो जाता है। उप सुद्राव[1] और अत्य सुद्राव इस्पातों में Ac_1 ताप बिन्दु पर पूर्ण परिष्करण संभव नहीं है, कारण कि इस ताप पर मुक्त फेराइट अथवा सीमेन्टाइट अप्रभावित रहते हैं। इस्पात के सभी घटकों

१. Hypoeutectoid

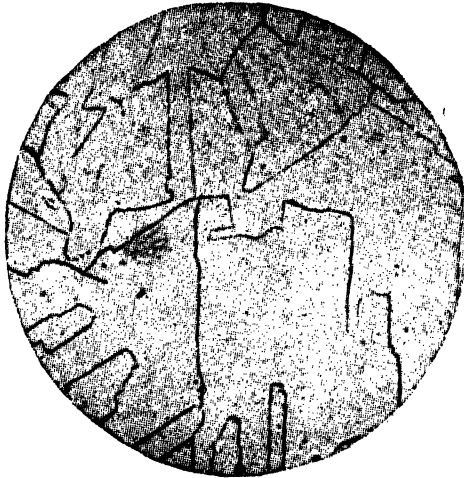
द्वारा ठोस विलयन आस्टेनाइट का निर्माण होने पर ही यव परिष्करण संभव होता है। इसे प्राप्त करने के लिए लोह कार्बन रेखी में निर्देशित उत्तर अश्रि बिन्दु से कुछ अधिक ताप तक इस्पात का ऊष्मित करना आवश्यक होता है। अश्रि परास से अधिक ताप पर आस्टेनाइट मणिभ स्थूल होने लगते हैं। उनकी वृद्धि का वेग ताप पर और विस्तार समय पर अवलंबित रहता है। ऐसा स्थूल यवित आस्टेनाइट विबंधित होकर अश्रि-परास के नीचे स्थूल पर्लाइट यवों में रूपांतरित होता है,जिससे उनकी शक्ति और तन्यता में कमी हो जाती है।

अति ऊष्मित और जले इस्पात

अश्रि-परास से अधिक ताप का उन्नयन करने से आस्टेनाइट यवों में वृद्धि की चर्चा ऊपर की जा चुकी है। ऐसे स्थूल यवों वाले इस्पातों को अति ऊष्मित इस्पात कहते हैं। इन इस्पातों को परिष्कृत करने के लिए अश्रि परास से कुछ अधिक ताप तक ऊष्मित कर शीतल किया जाता है। इत प्रकार बननेवाले नये यवों की परिमा कम हो जाती है। इसके विपरीत यदि इस्पात का ताप अत्यधिक बढ़ जाय तो आस्टेनाइट के यव बहुत स्थूल हो जाते हैं और उनके सभी ओर आक्सीकृत परत बन जाती है, जिससे इस्पात अत्यन्त भंगुर हो जाता है। इन इस्पातों का उद्धार पुनर्गलन के अतिरिक्त अन्य किसी विधि द्वारा नहीं किया जा सकता। इन्हें जले इस्पात कहते हैं।

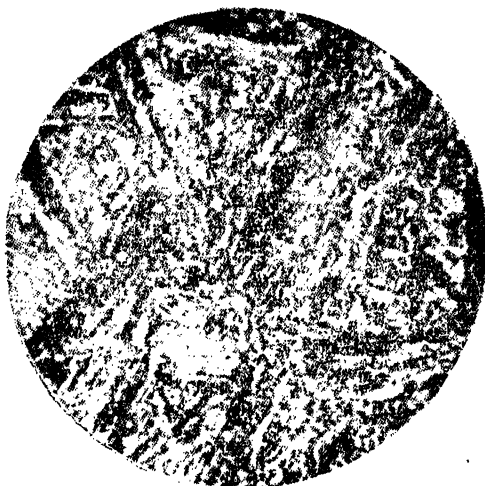
तापोपचारके सिद्धान्त

यदि इस्पात का शीतलन करने से सदैव पर्लाइट की प्राप्ति होती तो तापोपचार द्वारा शीतलन की गति बदल कर उसके भौतिक और यांत्रिक गुणों में परिवर्तन करना संभव न रहता। अश्रि परास में शीतलन की गति का नियंत्रण कर आस्टेनाइट से विभिन्न रूपान्तर उत्पाद प्राप्त किये जा सकते हैं, जिससे इस्पातों के गुण परिवर्धित हो जाते हैं और अन्य सभी पदार्थों

की तुलना में इस्पात सर्वाधिक उपयोगी बन जाता है। शीतलन की गति मंद होने पर (फर्नेस में शीतलन) आस्टेनाइट का विबंधन अपेक्षाकृत उच्च ताप पर प्रारंभ होता है और रचिति में स्थूल पर्लाइट बनता है। शीतलन का वेग बढ़ाने से (वायुताप पर शीतलन) रूपान्तर अपेक्षाकृत शीघ्र आरंभ होता है और इसके फलस्वरूप सूक्ष्म पर्लाइट बनता है। शीतलन की गति और अधिक बढ़ाने पर आस्टेनाइट के रूपान्तर से पर्लाइट की प्राप्ति नहीं होती। इसे अश्नि शीतलन वेग कहते हैं। शीतलन की गति उपर्युक्त वेग से मन्द होने पर पूर्ण अथवा आंशिक रूप से पर्लाइट बनता है तथा अश्नि शीतलन वेग और इससे अधिक गति होने पर मार्टेन्साइट की प्राप्ति होती है। यह अल्फा लोह में कार्बन का अति संतृप्त ठोस विलयन है।

चित्र ६४—आस्टेनाइट इस्पात

शीतलन की गति बदलकर विभिन्न घटकों के निर्माण को भली प्रकार समझने के लिए निम्नलिखित उदाहरण पर विचार किया जायगा:—

सुद्राव समास (०.८% कार्बन) वाले इस्पात को लगभग ८१६°

से० तक गरम कर ठोस विलयन आस्टेनाइट बनाया जाता है। चित्र ६४ में आस्टेनाइट की अण्वीक्ष रचना दिखायी गयी है। शीतलन की गति का समुचित नियंत्रण करने से विभिन्न घटकों की प्राप्ति होती है। इस सुद्राव इस्पात को लगभग ६५०° से० तक शीतल कर इसी ताप पर रूपान्तर करने से पर्लाइट-करण होता है। यह घटक अपेक्षाकृत मृदु होता है जिसकी कठोरता लगभग २०० ब्रिनेल समझनी चाहिए। आस्टेनाइट का द्रुत गति से शीतलन

चित्र ६५—बेनाइट घटक

कर लगभग ३१६° से० पर रूपान्तर करने से एक नया घटक बेनाइट बन जाता है। इस घटक का निर्माण (चित्र ६५) पर्लाइट की तुलना में नीचे ताप पर होता है और इसकी कठोरता लगभग ५५० ब्रिनेल होती है। आस्टेनाइट का ताप ८१६° से० से ३१६° से० तक शीघ्रतापूर्वक कम किया जाना चाहिए, कारण कि ६५०° से० पर पर्लाइटकरण की प्रवृति प्रबल रहती है। आस्टेनाइट का ताप और कम (१२०° से०) करके रूपान्तर कराने

से अधिक कठोर घटक मार्टेन्साइट की प्राप्ति होती है, जिसकी कठोरता लगभग ६५० ब्रिनेल होती है। चित्र ६६ में उपर्युक्त घटक की अण्वीक्ष रचिति दिखायी गयी है।

उपर्युक्त विवरण से यह स्पष्ट हो जाता है कि आस्टेनाइट से प्रारंभ होकर विभिन्न घटकों का करण आस्टेनाइट के रूपान्तर ताप पर निर्भर

चित्र ६६—मार्टेन्साइट रचिति

रहता है और रूपान्तर ताप में कमी के साथ उत्पाद की कठोरता में वृद्धि होती जाती है। यह समझ लेना महत्वपूर्ण है कि एक बार किसी उत्पाद के करण के बाद कम ताप पर दूसरे घटक की प्राप्ति नहीं की जा सकती। उदाहरण के लिए यदि आस्टेनाइट के ६५०° से० पर रूपान्तर से पर्लाइट बन जाय तो फिर ३१६° से० अथवा १२०° से० तक शीतलन से क्रमशः बेनाइट और मार्टेन्साइट की प्राप्ति नहीं होगी। इस प्रकार निम्नलिखित महत्वपूर्ण नियम का स्पष्टीकरण होता है—

'आस्टेनाइट के रूपान्तर से बेनाइट अथवा मार्टेन्साइट का करण[1] होने के लिए इस्पात के आस्टेनाइट का उच्च ताप पर रूपान्तर नहीं होना चाहिए।' इस्पात के कठोरन में पर्लाइटकरण रोकना महत्वपूर्ण है, क्योंकि कठोरित इस्पात की अंतिम रचना में मार्टेन्साइट अथवा बेनाइट रहते हैं।

रूपान्तर द्वारा पर्लाइटकरण होने में समय एक महत्त्वपूर्ण घटक होता है। उदाहरण के लिए उपर्युक्त ०·८% कार्बन इस्पात ८१६° से० से ६५०° से० तक शीतलित करने पर पर्लाइट के रूप में पूर्ण परिवर्तन होने में लगभग २५ सेकंड लगते हैं। अधिक ताप पर रूपान्तर के लिए अधिक समय (कुछ मिनट या घंटे) और कम ताप पर कम समय की आवश्यकता होती है। पर्लाइटकरण के लिए लगभग ५३८° से० पर सबसे कम समय (३ सेकंड) लगता है। इससे कम ताप पर रूपान्तर अवधि पुनः अधिक हो जाती है (जैसे लगभग ४२५° से० पर एक मिनट लगता है)। यदि आस्टेनाइट का रूपान्तर करने में पर्लाइटकरण बचाना हो तो ५३८° से० ताप प्रदेश ३ सेकंड से कम समय में पार हो जाना चाहिए। वास्तव में ३ सेकंड में इस्पात का पर्लाइटकरण पूर्णरूपेण हो जायगा, अर्थात् आंशिक रूपान्तर के लिए ३ सेकंड से भी कम समय लगेगा। बेनाइट अथवा मार्टेन्साइट का निर्माण करने के लिए ५३८° से० ताप प्रदेश एक सेकंड से कम समय में पार किया जाना चाहिए।

पर्लाइट करण न होने पर दूसरे अवर ताप परास (२०५ से ४२५° से०) में बेनाइट बनता है। बेनाइट करण पर्लाइट की तुलना में अधिक समय लेता है। लगभग ३७०° से० पर इस्पात का बेनाइट में रूपान्तर ३ मिनट में होगा और २६०° से० पर इस रूपान्तर में संभवतः ४५ मिनट लगेंगे। अतः इस्पात का बेनाइट करण करने के लिए निम्नलिखित पद[2] (प्रक्रम) आवश्यक हैं —

१. Formation २. Stages

(१) इस्पात का द्रुत गति से शीतलन, जिससे पर्लाइट करण न होने पाये। शीतलन की द्रुतता इस्पात के अनुसार बदलती है। सुद्राव[1] इस्पात में पर्लाइट करण एक से तीन सेकंड में हो जाता है, जब कि कुछ मेलीय तत्त्वों का समावेश कर यह अवधि एक मिनट या उससे भी अधिक बढ़ायी जा सकती है।

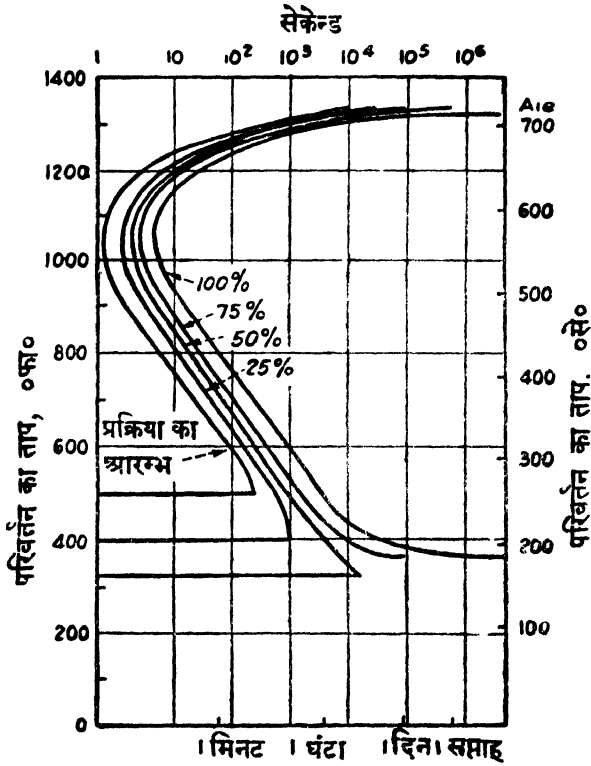
(२) इच्छित ताप पर इस्पात को पर्याप्त समय तक रखकर रूपान्तर को पूर्ण करना आवश्यक है। यह अवधि भी इस्पात की प्रकृति और बेनाइट के प्रकार पर निर्भर रहती है।

अब हम मार्टेन्साइट पर विचार करेंगे। आस्टेनाइट का वायु ताप के समीप रूपान्तर होने से मार्टेन्साइट की प्राप्ति होती है। इसके करण[2] की गति बहुत द्रुत रहती है। ताप के गिराव के साथ मार्टेन्साइट का निर्माण लगभग तुरंत होता है और ९५° से० ताप पहुँचने तक रचिति में मार्टेन्साइट का अनुपात ९५% से अधिक हो जाता है।

समतापीय रूपान्तर रेखी

उपर्युक्त उदाहरण में हमने सुद्राव इस्पात के रूपान्तरों पर विचार करते समय यह स्पष्ट किया कि ६५०° से० पर पर्लाइट करण में २५ सेकंड, ५३८° से० पर ३ सेकंड, बेनाइट करण के लिए ४२५° से० पर ३ मिनट और २६०° से० पर ४५ मिनट लगते हैं। मार्टेन्साइट करण प्रक्रिया की गति बहुत अधिक होने के कारण उपयुक्त कम ताप पर यह घटक लगभग तुरंत बन जाता है। उपर्युक्त न्यासों के आधार पर समय, ताप, रूपान्तर वक्र आलिखित किये जाते हैं। इन रेखियों को उनके आकार के कारण सर्पवक्र भी[3] कहते हैं। चित्र ६७ में सुद्राव इस्पात का सर्पवक्र दिखाया गया है। किसी भी इस्पात के लिए सर्पवक्र का आलेखन निम्नलिखित रीति से किया जाता है—

१. Eutectoid २. Formation ३. S. Curve

इच्छित इस्पात के छोटे प्रादर्श[1] अश्रि परास[2] से अधिक ताप तक ऊष्मित किये जाते हैं, जिससे उनकी सम्पूर्ण रचिति आस्टेनाइट में परिवर्तित हो

चित्र ६७—सर्पवक्र

जाती है। इन प्रादर्शों को निश्चित ताप पर रखे गये गलित सीस या वंग

१. Specimen २. Critical Range

के कुंभ में इच्छित समय तक रखकर शीतल जल में निर्वापित किया जाता है जिससे अवशिष्ट आस्टेनाइट का रूपान्तर होकर मार्टेन्साइट की प्राप्ति होती है। अवधि को बढ़ाकर पूर्व निश्चित ताप विशेष पर आस्टेनाइट का सम्पूर्ण रूपान्तर होने के लिए आवश्यक समय निश्चित किया जाता है। रूपान्तर का प्रारंभ और अंत दिखाने के लिए दो वक्र रहते हैं। प्रादर्शों में अवशिष्ट आस्टेनाइट का पता लगाने के लिए सूक्ष्मदर्शी द्वारा निरीक्षण किया जाता है। अवशिष्ट आस्टेनाइट निर्वापण द्वारा मार्टेन्साइट में बदल जाता है। लगभग ५३८° से० के समीप वक्र का भाग कोटि के निकट आता है। इसे वक्र की नासिका कहते हैं। यह नासिका कोटि के जितने समीप होगी, रूपान्तर में पर्लाइट करण की प्रवृत्ति को रोकने के लिए उतना ही अधिक उच्चंड[1] निर्वापण[2] करना पड़ेगा। विभिन्न मेलीय तत्त्वों का संकालन[3] कर सर्पवक्र[4] की नासिका को दाहिनी ओर हटाया जा सकता है। कोबाल्ट के अतिरिक्त अन्य सभी मेलीय तत्व सर्पवक्र की नासिका को दाहिनी ओर हटाते हैं जिसका अर्थ यह हुआ कि मेलीय इस्पातों में आस्टेनाइट के रूपान्तर की गति सीधे इस्पातों की तुलना में कम होगी। आस्टेनाइट की यव परिमा और समांगता का भी वक्र के आकार पर प्रभाव पड़ता है। आस्टेनाइट की यव परिमा में वृद्धि से रूपान्तर के आरंभ और समाप्ति में विलम्ब होता है। इसके विपरीत विषमांग आस्टेनाइट रूपान्तर के आरंभ की गति बढ़ा देता है।

सर्पवक्र आस्टेनाइट के विभिन्न तापों पर होनेवाले रूपान्तरों को भली प्रकार दर्शाता है, जिससे इस्पात के तापोपचार को अधिक सफलता और समझ के साथ करना सम्भव हो सका है।

१. Drastic २. Quenching
३. Addition
४. S-curve

व्यावहारिक तापोपचार

(१)–अनीलिंग (अभितापन)—इस्पात की अनीलिंग[1] निम्नलिखित उद्देश्यों से की जाती है—

क—इस्पात को मृदु बनाना।

ख—यवों का परिष्करण करना।

ग—इस्पात के पूर्वोपचार (जैसे—रोलिंग, (वेलन), तापकुट्टन, असम शीतलन) के फलस्वरूप विद्यमान तनावों का उन्मोचन करना।

पूर्ण अभितापन

इस विधि में इस्पात अश्रि-परास से कुछ अधिक ताप पर पर्याप्त समय तक रखा जाता है, जिससे उसकी सम्पूर्ण रचिति आस्टेनाइट रूप में आ जाती है। तत्पश्चात् उसे फर्नेस में धीरे-धीरे शीतल होने दिया जाता है। शीतलन की गति कम होने से पटलित पर्लाइट की प्राप्ति होती है और इस प्रकार इस्पात का अधिकतम मृदुलन और यव परिष्करण हो जाता है। इस तापोपचार में अधिक समय लगता है।

गोलाभ अभितापन

इस्पात का ताप अवर अश्रि बिन्दु के कुछ ऊपर या नीचे पर्याप्त समय तक रखा जाता है, जिससे पटल रूप सीमेन्टाइट वर्तुल हो जाता है। उच्च कार्बन इस्पातों की यंत्रन-क्षमता सुधारने के लिए यह तापोपचार दिया जाता है।

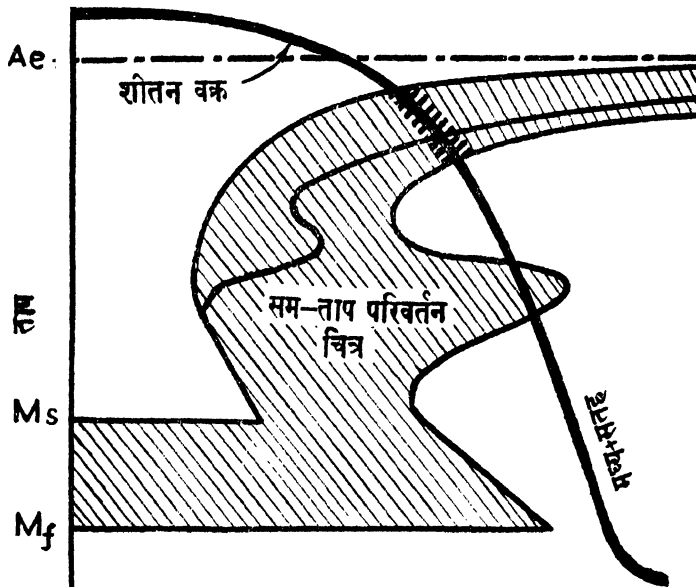
तनाव उन्मोच अभितापन

शीतल कार्यन द्वारा हुए तनावों का उन्मोचन करने के लिए इस्पात को लगभग ५५० से ६५०° से० तक गरम किया जाता है। इस ताप परास

१. Annealing **मृदुकरण, तापशीतन**

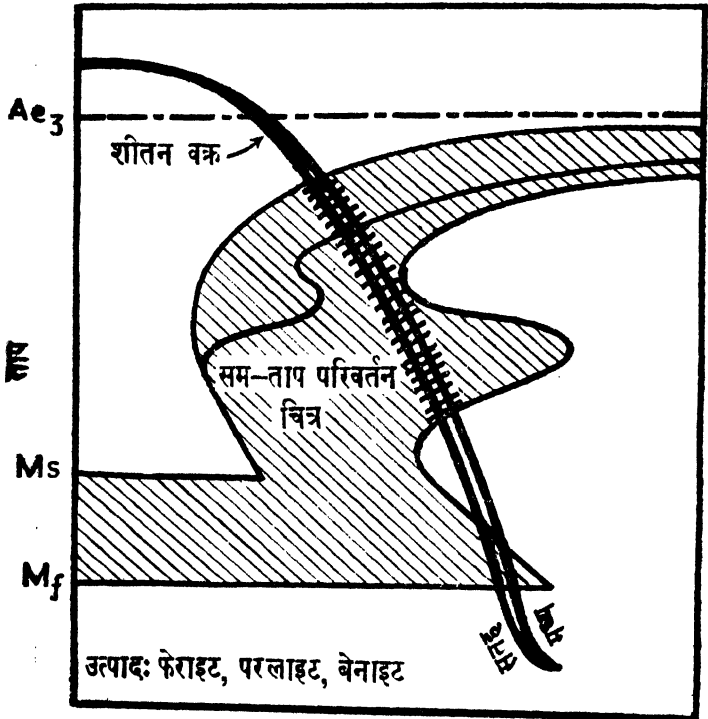
में फेराइट का पुनर्मणिभन होकर इस्पात की मृदुता बढ़ जाती है। यह तापोपचार चद्दरों और तारों के उत्पादन में व्यवहृत होता है।

समतापीय अथवा चक्र अभितापन

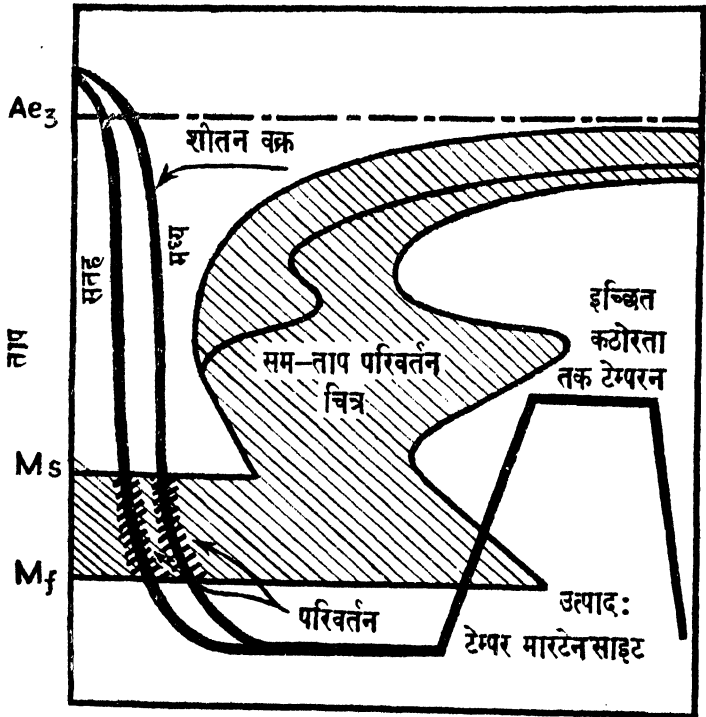
इस विधि में फर्नेस के प्रभार को अभि परास के ऊपर से पूर्व निश्चित

समय–लाग श्रेणी

चित्र ६८—अभितापन में शीतलन की गति

ताप तक शीघ्रता से शीतल किया जाता है और रूपान्तर पूर्ण रूप से समाप्त

होने तक उसी ताप पर रखा जाता है। रूपान्तर ताप का चुनाव समतापीय रूपान्तर रेखी के शीर्ष भाग में किया जाता है, जिससे अण्वीक्ष्य रचना में

चित्र ६९—सामान्यीकरण में शीतलन की गति

फेराइट और पर्लाइट प्राप्त हों। पूर्ण अभितापन की तुलना में यह तापोपचार करने के लिए कम समय की आवश्यकता होती है।

(२) सामान्यीकरण[1]—इस्पात को अग्नि परास के ऊपर सम ऊष्मित कर स्तब्ध वायु में शीतल किया जाता है। अभितापन की तुलना में शीतलन

चित्र ७०—निर्वापण में शीतलन की गति

की गति अधिक होने के कारण सामान्यीकृत यव अपेक्षाकृत अधिक कठोर

१. Normalisation

और सशक्त होते हैं। इस तापोपचार द्वारा परिष्करण होकर इस्पात की रचना अधिक सम हो जाती है।

(३) **निर्वापण और टेम्परन**—अभि परास के ऊपर इस्पात का द्रुत शीतलन निर्वापण कहलाता है, जिसके फलस्वरूप मार्टेन्साइट करण से इस्पात की कठोरता और भंगुरता बहुत बढ़ जाती है। इस्पात की शीतलन गति इतनी द्रुत होनी आवश्यक है कि सर्गवक्र की नासिका न कटे। चित्र ६८-७० में अभितापन, सामान्यीकरण और निर्वापण में शीतलन की गतियाँ दिखायी गयी हैं। इस्पात को निर्वापित करने के लिए तेल, जल अथवा जलीय विलयन उपयोग में लाये जाते हैं, जिनका चुनाव इस्पात के रासायनिक समास, परिमा और आकार के आधार पर किया जाता है।

निर्वापित दशा में इस्पात अधिक भंगुरता और कठोरता के कारण व्यावसायिक कार्यों के उपयुक्त नहीं बैठते। उनका पुनरूष्मन करने से आन्तरिक तनावों का उन्मोचन होता है एवं इस्पात की तन्यता बढ़ जाती है। यह उपचार टेम्परन कहलाता है। टेम्परन फर्नेस, गरम तेल कुंभ, द्रवित लवण अथवा द्रवित सीस कुंभ में किया जाता है। टेम्परन ताप में वृद्धि होने पर इस्पात की कठोरता में कमी आती है और चर्मलता[२] में वृद्धि होती है। इच्छित यांत्रिक गुणों का विकास करने के लिए टेम्परन अलग-अलग तापों पर किया जाता है। यदि अधिक कठोरता आवश्यक हो तब टेम्परन ३२०° से० से कम ताप पर किया जाता है। अधिक तन्यता का विकास करने के लिए लगभग ४२५° से० तक ताप बढ़ा दिया जाता है।

(४) **आस टेंपरन**[३]—अधिक तन्यता और कठोरता का संयोग लाने के लिए इस तापोपचार विधि का विकास किया गया है। अभि परास के ऊपर से इस्पात को उपयुक्त माध्यम में निर्वापित किया जाता है। माध्यम का ताप २०० से ३७०° से० रखा जाता है। इस ताप परास में आस्टेनाइट

१. Tempering, **प्रोक्षण** २. Toughness ३. Austempering

का रूपान्तर होकर बेनाइट की प्राप्ति होती है। निर्वापण माध्यम के रूप में द्रवित लवण उपयोग में लाये जाते हैं, जिनकी ऊष्मा अहरण क्षमता सामान्यतः कम होती है। इस कारण केवल छोटी परिमा वाले अवयवों का तापोपचार कर बेनाइट बनाना संभव होता है।

मारटेम्परन[1]—निर्वापण द्वारा इस्पात को कठोर करने से उसके दरारित और विरूपित होने की संभावना रहती है। निर्वापण जितनी उच्चंडता से किया जायगा, यह संभावना उतनी ही अधिक प्रबल रहेगी। मार टेम्परन में अश्रि परास के ऊपर से इस्पात का ताप Ms विन्दु तक द्रुत गति से गिराया जाता है और अवयव इस ताप पर पर्याप्त समय तक रखा जाता है। तत्पश्चात् Ms–Mf प्रदेश में वायु में शीतलन किया जाता है। इस प्रकार मार्टेन्साइट की प्राप्ति होती है और इस प्रकार रूपान्तर में आन्तरिक तनाव निम्नतम होने के कारण कठोरन, दरारें और विरूपण बहुत कम हो जाता है। वायु में शीतलन के बाद इस्पात का उपयुक्त ताप पर टेम्परन किया जाता है, जिससे इच्छित कठोरता और तन्यता प्राप्त हो सके।

१. Martempering

अध्याय १६

इस्पात का परीक्षण

इस्पात के विभिन्न अवयवों का अनेक प्रकार के कामों में प्रयोग होता है। कठिन तनावों का सामना करते समय उसे अपने आकार और गुण पूर्ववत् बनाये रखने पड़ते हैं। यदि प्रयोग काल में कोई अवयव विफल हो जाय तो दुर्घटनाएँ होकर धन-जन की महान् हानि हो सकती है। काम में लाने के पहले इस्पात की अर्हता और दोष-मुक्ति के विषय में विश्वास होना आवश्यक है।

वर्तमान युग में पुंजोत्पादन[1] का बहुत महत्त्व है। मशीनों की सहायता से बिल्कुल एक सरीखे हजारों-लाखों भाग और अवयव कम मूल्य में उत्पादित किये जाते हैं। कम मूल्य होने के कारण अधिक लोग उन्हें खरीद कर लाभ उठा सकते हैं। इस कारण वस्तुओं की अधिक माँग होती है और सस्ती तथा अच्छी वस्तुओं के उत्पादन को उत्तरोत्तर प्रोत्साहन मिलता है। प्रत्येक वस्तु की अच्छाई का प्रमाण और विश्वास दिलाने के लिए यह आवश्यक है कि उचित परीक्षण के बाद ही उसे उपयोग के लिए जाने दिया जाय। यही कारण है कि इस्पात उद्योग में परीक्षण को बहुत महत्त्व दिया गया है। इन परीक्षणों को हम निम्नलिखित तीन प्रमुख वर्गों में रख सकते हैं—

(१) रासायनिक विश्लेषण

१. Mass production

(२) भौतिक परीक्षण
(३) यांत्रिक परीक्षण

रासायनिक विश्लेषण

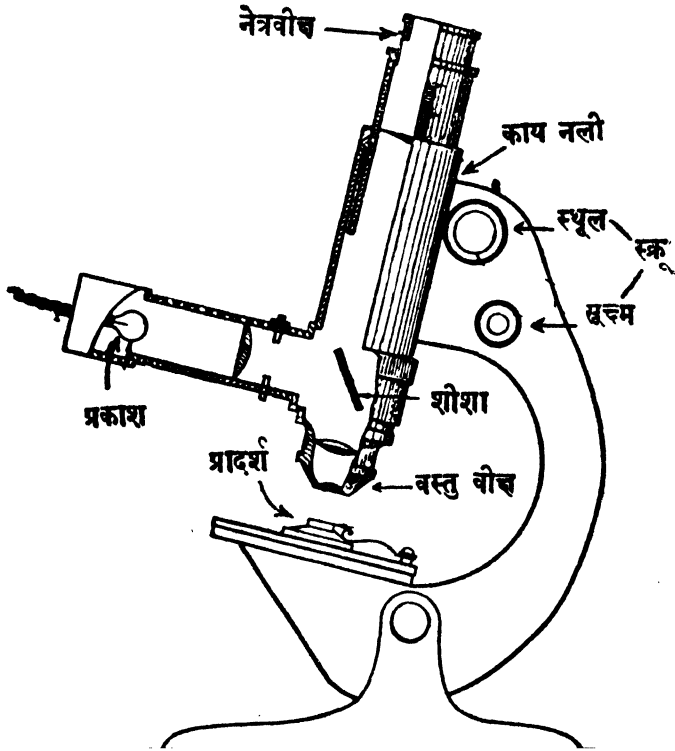
इस्पात के विशिष्ट गुण उसके रासायनिक समास[१] पर निर्भर रहते हैं। शुद्ध लोह अपेक्षाकृत अशक्त होता है परन्तु कार्बन के साथ मेल होने पर उसकी शक्ति और कठोरता बढ़ती जाती है। कम कार्बन वाले इस्पात की तुलना में अधिक कार्बन वाला इस्पात सशक्त परन्तु साथ ही भंगुर होता है। गंधक और फास्फोरस की उपस्थिति इस्पात के गुणों को कुप्रभावित करती है। इसके विपरीत निकेल और अन्य मिश्र धातुएँ इस्पात के गुणों का वांछनीय परिवर्धन करती हैं। इस कारण इस्पात के रासायनिक समास पर समुचित नियंत्रण रखना आवश्यक हो जाता है, जिससे वांछनीय गुणों वाली धातु प्राप्त हो सके।

रासायनिक विश्लेषण एक विशिष्ट कार्य है जिसे कुशलता और सफलतापूर्वक करने के लिए अनेक वर्षों की तैयारी और प्रायोगिक कार्य का अनुभव आवश्यक होता है। इस्पात में विद्यमान तत्वों का मात्रात्मक विश्लेषण करने के लिए उनके गुणों का समष्टि ज्ञान और अन्य तत्वों के कुप्रभाव को दूर करने के सिद्धान्तों की जानकारी आवश्यक है। प्रयोगशाला के एकान्त वातावरण में धीरज, लगन और परिश्रम से रासायनिक विश्लेषक इस्पात उत्पादन क्रियाओं का सफलतापूर्वक नियंत्रण करता है और इस्पात के मानक को प्रमाणित करता है।

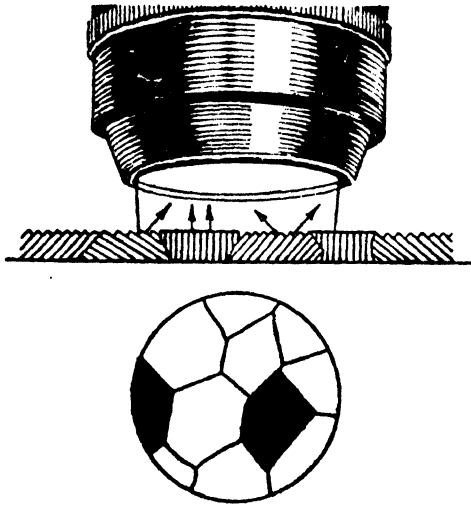
भौतिक परीक्षण

रासायनिक विश्लेषण से, कौन तत्व कितने परिमाण में विद्यमान है

१. Chemical composition

इसका पता चलता है, परन्तु इससे उनका वास्तविक रूप प्रकट नहीं होता। उदाहरण के लिए इस्पात में विद्यमान कार्बन लोह में विलयन अथवा कार्बाइडों के रूप में रह सकता है। निश्चय ही कार्बन के भिन्न रूपों का इस्पात के गुणों पर अलग अलग प्रभाव पड़ेगा। इस कारण रासायनिक

चित्र ७१—धातुकीय सूक्ष्मदर्शी का खंड

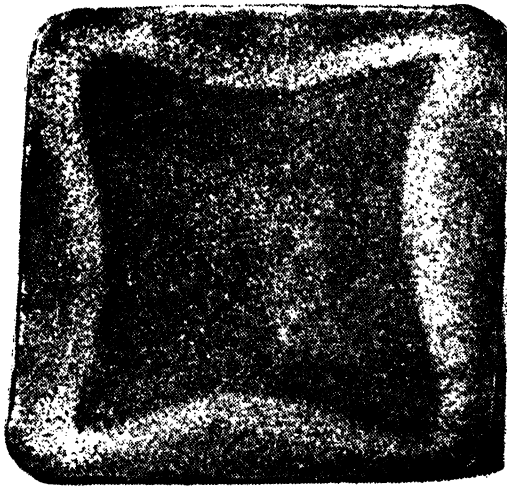
विश्लेषण के अतिरिक्त विभिन्न तत्त्वों के रूप और वितरण के विषय में ज्ञान होना आवश्यक हो जाता है।

इस्पात का भौतिक परीक्षण सूक्ष्मदर्शी द्वारा किया जाता है। छोटे प्रादर्श को पालिश और निरेखित[1] कर सूक्ष्मदर्शी के नीचे विभिन्न विशालनों[2] पर देखा जाता है। चित्र ७१ में धातुकीय सूक्ष्मदर्शी का खण्ड चित्र दिखाया गया है। प्रादर्श की सतह से प्रकाश की किरणें परावर्तित होती हैं, जो चित्र ७२ में दिखायी गयी हैं। इस्पात के अण्वीक्ष परीक्षण से भिन्न

चित्र ७२—प्रादर्श की सतह से प्रकाश किरणों का परावर्तन

भिन्न रचकों[3] की उपस्थिति, उनका वितरण, एकत्रन इत्यादि का पता लग जाता है। इस्पात का भौतिक परीक्षण इतनी प्रगति कर चुका है कि उसके भिन्न-भिन्न सूक्ष्म रचकों के गुण मालूम कर लिये गये हैं। इस ज्ञान की सहायता से इस्पात के औसत रासायनिक समास और यांत्रिक गुणों के

१. Etched २. Magnification ३. Components

बारे में पूर्व घोषणा की जा सकती है। कुशल धातु-विज्ञ सूक्ष्मदर्शी की सहायता से इस्पात के विभिन्न रचकों को उतनी ही सरलता से पहचान सकता है जितनी सरलता से हम मनुष्यों को पहचान लेते हैं और उनकी मुखाकृति देखकर उनके स्वभाव की खास-खास बातों की विवेचना कर सकते हैं तथा फोटो खींच सकते हैं। इस्पात का अण्वीक्ष परीक्षण १० से लेकर ३००० विशालनों तक किया जाता है।

इस्पात का स्थूल परीक्षण केवल देखकर अथवा दसगुना विशालित कर किया जाता है और उससे निम्नलिखित सूचनाएँ प्राप्त की जाती

चित्र ७३—इस्पात में विद्यमान गन्धक का एकत्रन

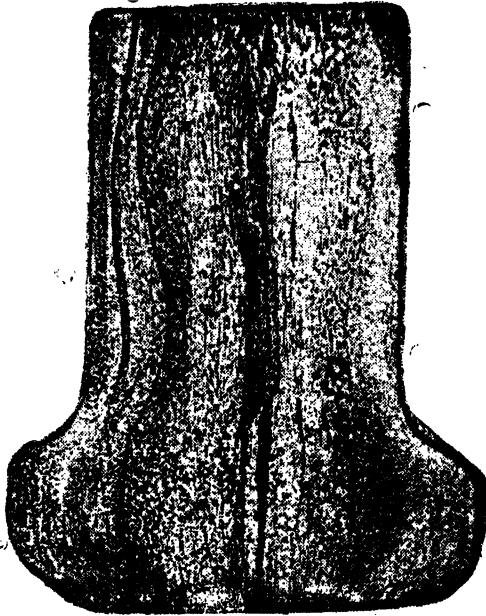
(१) अशुद्धियों का एकत्रन (गंधक और फास्फोरस)

(२) अवयव के निर्माण की विधि (बेलन, तापकुट्टन, संधान इत्यादि)

(३) यवों की परिमा[1] और उनकी समांगता

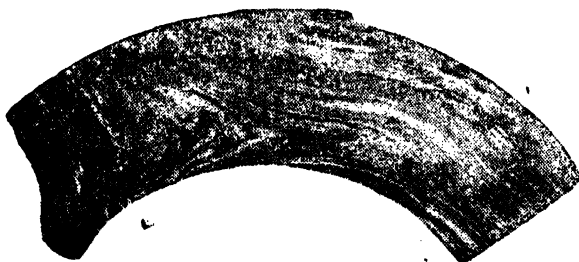
(४) अन्तर्भूतों की उपस्थिति (मलकण, सल्फाइड इत्यादि)

(५) उत्पादन के दोष

चित्र ७३ और चित्र ७४-७५ में क्रमशः इस्पात में विद्यमान गंधक

चित्र ७४—प्रवाह-रेखाएँ

का एकत्रन और प्रवाह-रेखाएँ दिखायी गयी हैं। इस्पात के विभंग का निरीक्षण करने से उसके गुणों और उत्पादन के इतिहास पर महत्त्वपूर्ण प्रकाश

१. Size

पड़ता है। उदाहरण के लिए, मल और धमन छिद्र दोषपूर्ण उत्पादन दिखाते हैं, स्थूल यव गलत प्रपूरण ताप अथवा तापोपचार का निर्देशन करते हैं। पिटवाँ लोह का तन्युमय विभंग अपनी विशेषता रखता है।

चित्र ७५—प्रवाह-रेखाएँ

यांत्रिक परीक्षण

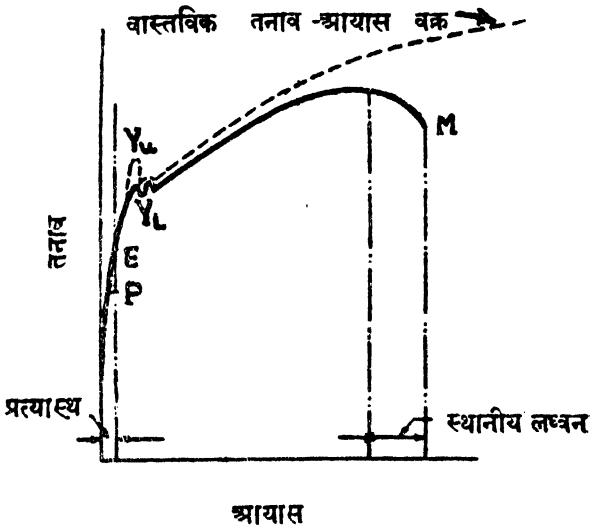
रासायनिक और भौतिक परीक्षणों के दत्तों[१] की सहायता से इस्पात के गुणों की घोषणा की जाती है। अधिक विश्वास पाने के लिए इस्पात का यांत्रिक परीक्षण किया जाता है, जिससे यह ज्ञात हो सके कि वास्तविक उपयोग में वह कैसा व्यवहार करेगा। ज्ञान-विज्ञान की प्रगति आश्चर्य-जनक अवश्य है परन्तु अच्छा इंजीनियर यह कभी नहीं भूलता कि अब भी अज्ञान के क्षेत्र अधिक विस्तीर्ण और व्यापक हैं। छोटी सी कमी रह जाने पर या भूल हो जाने से असीम हानि की संभावनाएँ रहती हैं। दोषपूर्ण अवयव[२] के विफल होने पर उस भूल के लिए उत्तरदायी व्यक्ति तो अछूते बच रहते हैं और सैकड़ों निर्दोष व्यक्तियों को उसकी सजा भुगतनी पड़ती है। यही कारण है कि रासायनिक और भौतिक परीक्षण के बाद भी वास्तविक सेवा-काल में धातु का व्यवहार जानने के लिए परीक्षण किये

१. Data २. Components

जाते हैं। इन परीक्षणों पर हम निम्नलिखित दो भागों में विचार कर सकते हैं—

(१) ध्वंसक परीक्षण
(२) अध्वंसक परीक्षण

ध्वंसक परीक्षण

(१) **वितान और संपीडन शक्ति**—इस्पात के यांत्रिक परीक्षणों

चित्र ७६—तनाव आयास-रेखी

में वितान परीक्षण का सर्वाधिक उपयोग किया जाता है। इस परीक्षण द्वारा इस्पात की शक्ति और तन्यता के गुणों का ज्ञान एक साथ हो जाता है, जिससे प्ररचना के कार्यों में सहायता मिलती है। इस्पात के **प्रमाप**

प्रादर्श[1] के मध्य भाग को विधिवत् यंत्रित किया जाता है और उस पर दो हलके चिह्न निश्चित दूरी पर अंकित किये जाते हैं। परीक्षण यंत्र में प्रादर्श को लगाकर धीरे धीरे भार में उत्तरोत्तर वृद्धि की जाती है। वितान परीक्षण के परिणाम तनाव-आयास रेखी के रूप में अंकित किये जाते हैं। चित्र ७६ में मृदु इस्पात का तनाव-आयास रेखी[2] दिखाया गया है। रेखी में प बिन्दु तक तनाव तथा आयास आनुपातिक अवस्था में रहने से सोधी रेखा प्राप्त होती है। यदि इस सीमा के भीतर किसी भी समय तनाव हटा लिया जाय तो आयास[3] भी समाप्त होकर प्रादर्श अपनी मौलिक विमा[4] प्राप्त कर लेता है। इसे "आनुपातिक सीमा" कहते हैं। इस समय तक प्रादर्श की विमाओं का स्थायी विरूपण नहीं होता।

आनुपातिक सीमा पार होने के पश्चात् इस्पात का यन्य बिन्दु[5] मिलता है जहाँ भार में थोड़ी वृद्धि करने पर विरूपण शीघ्रता पूर्वक बढ़ता है। प्रादर्श की लम्बाई में वृद्धि के साथ अनुप्रस्थ खंड क्रमशः लघ्वित हो जाता है और अंत में प्रादर्श टूट जाता है।

इस परीक्षण से इस्पात की वितान शक्ति के अतिरिक्त उसकी तन्यता का भी बोध होता है। टूटे हुए दोनों भागों को एक साथ मिलाकर अंकित चिह्नों के बीच की नवीन दूरी नाप ली जाती है और इस प्रकार दीर्घन की प्रतिशतता का अनुमान लगाया जाता है। क्षेत्रफल के लघ्वन से भी धातु की तन्यता का बोध होता है।

संपीडन तनावों का प्रभाव जानने के लिए रंभाकार प्रादर्शों पर संपीडन परीक्षण किया जाता है। बहुधा इस परीक्षण के लिए वितान परीक्षण यंत्र का, जिसमें वितान के स्थान पर प्रादर्श का पीड़न होता है, उपयोग किया जाता है।

१. Standard specimen   २. Drawing   ३. Strain
४. Dimension आयाम   ५. Yield point

(२) **कठोरता**—किसी भी वस्तु के विरूपण[1] अवरोध को कठोरता कहते हैं। कठोरता मापन की अनेक रीतियाँ प्रचलित हैं। इनमें इस्पात की कठोरता ज्ञात करने के लिए निम्नलिखित तीन सिद्धान्त उपयोग में लाये जाते हैं—

(१) इस्पात अवयव को प्रमाप रेती से खरोंचा जाता है। इस प्रकार रेती की तुलना में इस्पात की कम या अधिक कठोरता का ज्ञान होता है।

(२) भली प्रकार सज्जित प्रादर्श को कठोर गोली अथवा हीरे के पिरामिड के संपर्क में लाकर पूर्व निश्चित भार प्रयोजित किया जाता है और इस प्रकार बने निम्नन[2] की विमाओं को नापकर इस्पात की कठोरता का ज्ञान किया जाता है। ब्रिनेल और विकर्स पद्धति में क्रमशः प्रादर्श की सतह पर बने आरोपण का व्यास और विकर्ण नापकर इस्पात की कठोरता का अनुमान किया जाता है। इस्पात में कठोरता की वृद्धि के साथ आरोपण की विमाएँ कम होती जाती हैं। ब्रिनेल परीक्षण में इस्पात की गोली और विकर्स परीक्षण में हीरे का पिरामिड उपयोग में लाया जाता है। २४८ ब्रिनेल संख्या तक ब्रिनेल और विकर्स के वाचन[3] समान होते हैं। इससे अधिक कठोरता पर ब्रिनेल मशीन में व्यवहृत गोली का विरूपण होने से बड़ा आरोपण[4] बनता है।

इस्पात की ब्रिनेल संख्या में ५०० का गुणा करने से इस्पात की औसत वितान शक्ति (पौंड प्रति वर्गइंच) प्राप्त होती है।

राकवेल कठोरता परीक्षण में प्रादर्श की सतह पर बने आरोपण (निशान) की गहराई को नापा जाता है।

(३) शोर कठोरता परीक्षण में हीरक बिन्दु वाले अयोघन का

१. Deformation २. Depression ३. Reading
४. Impression

प्रादर्श की सतह से उत्प्लवन[1] देखकर कठोरता का अंदाज किया जाता है। यह यंत्र बहुत छोटा होने के कारण कहीं भी सरलता से ले जाया जा सकता है और इसमें बने दन्त की परिमा बहुत छोटी होने के कारण इसका उपयोग समापित इस्पात अवयवों की कठोरता निकालने में किया जा सकता है।

(३) **श्रान्ति परीक्षण**—तनावों का लगातार सामना होने पर अनेक अवयव अपनी वितान-शक्ति-सीमा के बहुत पहले ही विफल हो जाते हैं। इस्पात में विद्यमान सतह दोष, दरार इत्यादि के निकट तनावों का सान्द्रण होता है और इस प्रकार वितान शक्ति के लगभग ४५ से ५० प्रतिशत भार पर ही इस्पात विफल हो जाता है। श्रान्ति सीमा का पता लगाने के लिए भार-मुक्त प्रादर्श द्रुतगति से घूर्णित किया जाता है। पहले प्रादर्श में अधिक भार रखकर पूर्वापर प्रादर्शों में उसे क्रमशः कम किया जाता है और एक करोड़ घूर्णन होने पर भी प्रादर्श को विफल न करनेवाले अधिकतम भार का पता लगाया जाता है। इसे प्रादर्श की 'श्रान्ति सीमा' कहते हैं।

(४) **संघात परीक्षण**—इस्पात की संघात-सहनशक्ति उसकी भंगुरता अथवा चर्मलता का निर्देश करती है। कभी-कभी सशक्त इस्पात साधारण आकस्मिक धक्के से टूट जाते हैं। संघात-सहनशीलता का पता लगाने के लिए प्रादर्श पर निश्चित तीव्रता वाला आघात किया जाता है और प्रादर्श को तोड़ने में अवशोषित ऊर्जा के आधार पर संघात संख्या का अनुमान किया जाता है। संघात-परीक्षण के लिए चार्पी और आइजाड यंत्र उपयोग में लाये जाते हैं। चार्पी यंत्र में विभिन्न तापों पर संघात परीक्षण की सुविधा होने के कारण यह पद्धति अधिक लोकप्रिय होती जा रही है।

१. Rebounding

(५) **निसर्प परीक्षण**—उच्च ताप पर इस्पात का व्यवहार प्लास्टिक पदार्थ के समान हो जाता है और अपेक्षाकृत कम भार पर उसका दीर्घन होने लगता है। इस परिवृत[1] को निसर्प[2] कहते हैं। प्रादर्श को विद्युत फर्नेस में निश्चित ताप पर रखा जाता है और उस पर निश्चित वितान भार प्रयोजित कर समय-समय पर उसका दीर्घन नापा जाता है। इस परीक्षण में कई घंटे, सप्ताह अथवा महीने लग सकते हैं। दस हजार अथवा एक लाख घंटों में प्रादर्श का एक प्रतिशत दीर्घन करनेवाले तनाव को इस्पात की निसर्प शक्ति कहते हैं। उच्च ताप पर उपयोग में आनेवाले इस्पातों के लिए इस परीक्षण का बहुत महत्त्व है।

उपर्युक्त परीक्षणों के अतिरिक्त **कटोरन** नति, अपघर्षण, अवमंदन, **विमोटन** इत्यादि गुणों का ज्ञान करने के लिए अलग-अलग प्रकार के उपकरणों की सहायता ली जाती है। प्रत्येक भिन्न अवयव के लिए उसकी सेवा के प्रकार्य को ध्यान में रखते हुए अलग-अलग परीक्षण विधियाँ निर्धारित की गयी हैं। इन सबमें प्रमुख विचार यही रहता है कि वास्तविक सेवा में जैसे और जितने प्रकार के तनावों का सामना होगा, उन सबका यथासंभव अनुमान लगाकर प्रयोगशालाओं में परीक्षण किया जाय।

अध्वंसक परीक्षण

ध्वंसक परीक्षण करने के लिए इस्पात के कुछ प्रतिनिधि आदर्श चुन लिये जाते हैं और उनको नष्ट कर विभिन्न गुणों का पता लगाया जाता है। अध्वंसक परीक्षणों द्वारा वस्तुओं के आकार-प्रकार में बिना कोई परिवर्तन किये उनके अंतर में छिपे दोषों का पता लगाया जाता है। ये दोष सेवा-काल में असफलताओं को जन्म देते हैं।

१. Phenomena

२. Creep

(१) **किरण लेखन**—जिस प्रकार टूटी हड्डियों का पता एक्स-रे फोटो लेकर सरलता से लगाया जाता है, ठीक उसी प्रकार धातुओं की परीक्षा की जाती है। एक्स-रे अथवा गामा किरणों की सहायता से इस्पात के अन्तर में विद्यमान धमन छिद्र, दरारों इत्यादि का पता लगाया जाता है। दोषयुक्त भाग से आर-पार होनेवाली किरणों की तीव्रता अधिक होने से फोटो प्लेट में दोष की छाया उतर आती है। इस विधि का उपयोग संवपित[१], वेल्डित इत्यादि वस्तुओं के दोषों का पता लगाने के लिए किया जाता है।

(२) **चुम्बकीय परीक्षण**—इस्पात में विद्यमान असंतानी[१] का पता लगाने के लिए चुम्बकीय परीक्षण किया जाता है। इस्पात के काय में विद्यमान असंतानी में फ्लक्स का क्षरण होने के कारण उस स्थान में चुम्बकीय कण चिपक जाते हैं और इस प्रकार दोष का निर्देशन करते हैं।

(३) **कर्णातीत परीक्षण**—इस्पात के काय में दोषों का पता लगाने के लिए एक स्पन्दन मणिभ की सहायता से ध्वनि तरंगें दस लाख चक्र प्रति सेकंड आवृत्ति पर भेजी जाती हैं। ये तरंगें इस्पात के काय में से जाकर अभिमुख सतह द्वारा परावर्तित होती हैं और पुनः प्रारंभ करनेवाले मणिभ द्वारा ग्रहण कर ली जाती हैं। इन तरंगों की इस यात्रा में कुछ समय लगता है। बीच में कोई दोष होने पर ये तरंगें अपेक्षाकृत कम समय में वापिस लौट आती हैं। तरंगों के वापिस आने का समय इस्पात के काय में स्थित दोष अथवा असंतानी की दूरी पर निर्भर रहता है और दोलन लेखी में ककुद बन जाता है। इस परीक्षण का उपयोग इस्पात की बिलेटों[२] में दोषों का पता लगाने के लिए किया जाता है। स्पन्दन मणिभ को बिलेट की सतह पर चलाकर उसके अंतर में विद्यमान दोष ढूंढ़े जाते हैं।

१. Cast

२. Billets

(४) **जिग्लो परीक्षण**—इस्पात के अवयव को विशेष वेधक द्रवों में निमज्जित किया जाता है। उपर्युक्त वेधक द्रव इस्पात की सतह पर विद्यमान सूक्ष्म दरारों में भर जाता है। तत्पश्चात् इस्पात की सतह शुद्ध जल द्वारा धोकर सुखायी जाती है। अब सतह पर विशेष अवशोषक चूर्ण फैला दिया जाता है जो दरारों में भरे द्रव को ऊपर खींच लेता है। इस्पात अवयव को पारजम्बु प्रकाश में देखने से ये दोष प्रतिदीप्त होते हैं।

इतनी कठिन परीक्षा के बाद इस्पात के विभिन्न अवयव उपयोग के लिए भेजे जाते हैं। जब उनसे काम लिया जाता रहता है तब भी समय समय पर उनकी यथोचित जाँच होती रहती है, जिससे उपयुक्त समय पर किसी भी त्रुटि का ज्ञान हो सके। तभी हम सभी विश्वासपूर्वक आधुनिक सुखसाधनों का उपयोग करते हैं।

पारिभाषिक शब्दावली

हिन्दी से अंग्रेजी

अ

अंतरबद्ध Interlocked
अंतरानीक Interface
अंतरालीय Interstitial
अंतरावेश Inclusion
अंतर्भूत Inclusive; things included
अंतहीन श्रृंखला Endless chain
अंश Content; degree
अकलुष इस्पात Stainless steel
अकेलास Amorphous
अक्रिय Inert
अचर Constant
अक्ष Axis
अण्वीक्ष (सूक्ष्मदर्शी) Microscope
अति छादन Over-lapping
अति तप्त Super-heated
अत्यन्तता Intensity
अत्य सुद्राव Hyper eutectoid
अवः वृहदन्ती Big-end-down
अदह् Asbestos
अधर Lower
अधस्तल Sub-surface
अधःस्थल Under ground
अधोगमन Subsidence
अधोगामी Down-comer
अधोवाप Hopper
अनाकार (दे० अकेलास) Amorphous
अनीलन (दे० 'अभितापन') Annealing
अनुकलित Integrated
अनुप्रस्थ खंड Cross Section
अनुमापन Titration
अनुरेख प्रवेग Linear velocity
अनुस्थापन Orientation
अपकेंद्र उदंच Centrifugal pump
अप-खंडन Stripping
अपघर्षक Abrasive
अपघर्षण Abrasion
अपचयन Reduction
अपनेय Removable
अपर रूप Allotropic

अप वहन Disposal
अपारदर्शी Opaque
अभिनवीकरण Modernization
अभिकर्त्ता Agent
अभितापन Annealing
अभिनत Inclined
अभिमुख Opposite
अभिलेखन Record
अभिशीतन Chilling
अभ्यानम्य Tilting
अम्ल मार्जन Pickle
अयस्क Ore
अयोघनन Hammering
अरब Billion
अर्ध इस्पात Semi-steel
अर्ध हत Semi-killed
अर्हता Quality
अवकरण (अपचयन) Reduction
अवक्षेप Precipitate
अवतल Concave
अवपातक Pit side
अवपातन (ढलन प्रपूरण) Teem
अवमन्दन क्षमता Damping capacity
अवमूल्यन Devaluation
अवरोहण Descending
अशुद्ध Impure
अश्रिबिन्दु Critical point
अष्ट फलकीय Octahedral
असंततता, असांतत्य Discontinuity
असीवन Seamless

आ

आकार Shape
आकारन Shaping
आकुंचन Shrinkage
आकुल प्रवेग Turbulent velocity
आक्सीकरण Oxidation
आखुरण Scratch
आग्नेय Igneous
आघात Shock
आदहन Charring
आदा Input
आदि धातु Native metal
आधिक्य Excess
आधेय Content
आनम्य Flexible
आन्तरक Core
आन्तरिक Internal
आन्दोलन Campaign
आयतन Volume
आयास Strain
आयुध Ordnance

आरोपण Impression
आलेख Graph
आलेखन Plot
आवर्त सारणी Periodic Table
आवासित Fettle
आवृत्ति Frequency
आवेजक, उत्प्रेरक Catalytic
आशय Pool
आश्चोतन Trickle
आसंग (संसंजन) Cohesion
आसटेम्परन Austempering

इ

इन्गट, पिंडक, सिल Ingot
इन्गटन Ingotism
इलेक्ट्रानिक पुनर्विन्यास Electronic rearrangement
इष्टिका Briquette
इस्पात Steel

ई

ईंधनी, दे० ऐंधनी

उ

उग्र Wild
उच्चंड Drastic
उतपत पदार्थ Volatile matter
उतल Convex
उत्ताप दीप्त Incandescent
उत्तिज Sharpner
उत्पाद Products
उत्पादन Production
उत्प्रेरक Catalytic Agent
उत्प्लवन Rebound
उदंच (पंप) Pump
उदर Bosh
उदग्र Vertical
उदच्छेद Hydrolysis
उद्‌जन Hydrogen
उद्‌जनन Hydrogenation
उद्‌विच्छेदन Hydrolysis
उद्ध Top
उद्धावन Flushing
उन्नयन Raising, upgrading
उन्मोचन Relieving
उपकृति Beneficiation
उपक्रम (प्रकार्य) Operation
उपचार Treatment
उपजात Bye-product
उप सुद्राव Hypo-eutectoid
उपाधीयन Conditioning
उभय धर्मा Amphoteric
उषंकरी अर्हा Calorific Value

ऊ

ऊर्ध्वपातन Sublimation
ऊर्ध्व वृहदन्ती Big end up
ऊर्ध्वाधरत: Vertically

ऊंची पटरी High Lines
ऊर्ध्वंग Uphill
ऊष्मा Heat
ऊष्मीय अर्हा Calorific Value

ए

एकत्रन Segregation
एकभाजित इस्पात Single sheer steel
एकरेखन Alignment
एकान्तरिक Alternate
ऐंधनी Fuel technology

ओ

ओघ Ampere
ओर, अयस्क Ore
ओवन Oven
ओषक, केलरी Calorie
ओषिद Oxide
ओष्ठ Spout

औ

औजार Tool

क

कंटाग्र Pointed
कंदुकन Balling
ककुद Hump
कटलरी Cutlery
कटोर Cup
कटोर और शंकु विन्यास Cup and cone arrangement
कड़ापन Stiffness
कण Grain
कपिशु (बभ्रु) Brown
करण Formation
करोटि Skull
कर्णातीत Supersonic
कर्तन Cutting
कर्पर Shell
कर्मक Works
कर्षुक (चुम्बक) Magnet
कला Phase
कला विन्यास Mechanism
कवच Armour, shell, shield
कवर Cover
कांति लोह Cast Iron
काछना Skim
काय Body
कार्बनमय Carboneous
कार्यन Working
कालर Collar
काशिकीय (दे० प्रकाशकीय)
किरण लेखन Radiography
कुंडलित Coiled
कुंभ Bath
कूटना, मूसल Ram

कृतता Finish
केन्द्रापग उदंच, अपकेन्द्र पंप Centrifugal pump
केलरी Calorie
केस Case
कोटर Cavity
कोटि Ordinate
कोर Core
कोण Corner
क्रम्य Graded
क्षमता, धारिता, समाई Capacity
क्षरण Leakage
क्षारण Rusting
क्षिप, वायुनल, (वायुछिद्र) Tuyere, twyer
क्षेप्य Scrap
क्षैतिज Horizontal
क्षोद या चूर्ण Powder

ख

खनन योग्य, खननीय Workable
खनिज तेल Mineral Oil
खपत Consumption
खर्जु Scab
खाँचा Groove, nick

ग

गंधकीय Sulphide
गंधकहरण Desulphurization
गंत्री Motor Car
गरम हानित Hot short
गलनांक Melting point
गवेषणा Research
गाढ़ Intimate
गालनी Filter
गुटका Block
गुरु उद्रेखन Deep drawing
गुहा Cavity, Hole
गैंग Gangue
गोलाभन Spheroidization
गौण Secondary
गौण पाइप Secondary Pipe
ग्राहक Catcher

घ

घटक Constituent, Factor
घनाकार Cubic
घरिया, मूषा Crucible
घाण Batch
घुमावदार Swirling
घूर्णन Rotation
घृष्णा Abrasion

च

चंचलता Mobility
चक्र Cycle
चक्रक्रम Cyclic
चक्रण Circulation

चरण Stage
चर्मलता Toughness
चल यंत्र Locomotive
चलित्र Motor
चलिष्णुता Mobility
चानक, ईषा Shaft
चाप Arc
चाप रूप Arched
चार्ज (प्रभार) का सज्जन Preparation of charge
चाल Speed
चालकता Conductivity
चित्र Diagram
चुंबक (कर्षुक) Magnet
चूचुक Nipple
चूर्ण (क्षोद) Powder
चैंकर Checker
चोया Mill Scale

छ

छदिका Hood
छर्री Coke breeze
छालित (छालेयुक्त) इस्पात Blister Steel
छीजन Drass

ज

जमाव Deposit
जव Speed
जस्तांबरन Galvanizing
जस्तांबरित Galvanized
जारण Roasting
जैव Organic
जैविकी Biology
जोड़ Joint
ज्यामिति Geodesy
ज्वालक Burner

ट

टाँकन Soldering
टिकिया, इष्टिका Briquette
टूल, औजार Tool
टेम्परिंग Tempering
टेढ़ा होना Warp
ट्रनियन Trunnion
ट्रान्सफार्मर Transformer

ढ

ढलन Team
ढेले Lumps

त

तंदूर Hearth
तज्ज्ञ Expert
तत्परता Efficiency
तनु Dilute
तन्यता Ductility

तन्य बल Tensile strength
तरलक Liquidus
तरलता Fluidity
तरस्व Power
तरस्व विनियोग Power Consumption
तल तनाव Surface Tension
तल्य Pad
तापद, उष्माक्षेपक Exo-thermic
तापोपचार Heat Treatment
तारकोल Tar
तालिका Table
तुरही Trumpet
तेजोद्गिरण Radio active
त्रपु Tin
त्वरण Acceleration
दंतन, दंतुरीकरण Indentation
दक्षता Efficiency
दत्त, न्यास Data
दबाव Pressure
दबाव वेल्ड Pressure weld
दल Ion
दलन Crushing
दहन Combustion
दीपन Lighting
दीप्त Luminous
दीर्घन Elongation
दुर्गम Intricate
दोलन लेखी Oscilloscope
द्रावक, द्रावकर्त्ता Melter; Flux
द्रावित Fluxed
द्वितीयक Secondary
द्विभाजित इस्पात Double sheer steel
द्वियोगन, द्वैधन Duplexing

ध

धरणी, धरन Beam
धातुकी, धातु विज्ञान Metallurgy
धारक Catcher
धारा Current
धारिता, समाई Capacity
धारियाँ Flakes
धावक Runner
धूसर Gray

न

नम्र लोह Mild steel
नाड Pipe
नार्मलन (दे० सामान्यीकरण)
नावीय योधन सज्जा Naval Armament
नास्ति Negative
निक्षेप Deposit
निग Plug
निगमन Deduction

नितल Bottom
निप्रथन Dissipation
निमज्जित Immersed
निम्नतम Minimum
नियमन Regulation
निरेख Drawing
निरेखित Etched
निर्माणिका, निर्माणी Factory
निर्यासन Stick
निर्वात Vacuum
निर्वापण Quench
निलम्बित Suspended
निष्कलंक (अकलुष) इस्पात Stainless Steel
निष्क्रमण Outlet
निष्पत्ति Efficiency
निसर्प Creep
निसादन Sedimentation
निष्कासन Ejection
निस्तप्त Calcined
निस्तापन Calcination
निस्फुरण Dephosphorisation
निस्सारण Extraction
निस्यन्द Filtrate
नील भंगुर परास Blue Brittle Range
नीलमुद्र Blue Print

न्यंच Pump
न्यादर्श Sample
न्यास, दत्त Data

प

पंक गन Mud gun
पंजर Skeleton
पटल Film
पटलित Laminated
पट्ट Plate
पट्टी Strip
पद (चरण, प्रक्रम) Stage
पद्यहित, संपिंडित Consolidated
परावर्त Reflect
परास Range
परिगणन Calculation
परिघाटन Fabrication
परिणामक Transformer
परिदृढ़ Rigid
परिद्रवण Peritectic
परिधि Circumference
परिपात Precipitate
परिपातन, अवक्षेपण Precipitation
परिबन्ध Boundry
परिभ्रमण, घूर्णन Rotation
परिमन्द, अवमन्द Damp
परिमा Size

परिमापन Estimate

परिरक्षक Shield

परिवर्तक Converter

परिवर्त बिन्दु Transformer point

परिवर्ती धारा Secondary Current

परिवेध Bore

परिवृत Phenomena

परिव्यय Cost

परिष्करण Dressing

परिष्करणी Refinery

परिसंस्था Association

परिसर, परास Range

परीक्षण Test

पल्वल Pool

पादप (संयंत्र) Plant

पारजम्बु Ultra voilet

पारण Passage

पारद Mercury

पार्श्व Side

पाशन Entrapping

पिंड Cake

पिगन Pigging

पिग लोह Pig Iron

पिटवाँ लोह Wrought Iron

पिरामिड Pyramid

पीड Press

पीडन Pressing

पुंजोत्पादन Mass production

पुनरापण Recuperating

पुनराप्त्र Recuperator

पुनरुत्पादित Reproduced

पुनर्कार्बिनीकरण Recarburization

पुनर्कार्विनन Recarburization

पुनर्ग्रहण Recovery

पुनर्जनक Regenerator

पुनर्जनन Regeneration

पुनर्दीप्तन Recalesence

पुन:फास्फरन Rephosphorization

पुनर्विन्यास Rearrangement

पुनस्स्फुरण Rephosphorisation

पुराजीव Fossil

पूतीकरण Purification

पूर्णता Perfection

पूर्वापर Successive

पृष्ठवंशी Vertebrate

पैक Pack

पोर्ट Port

प्रकार Type

प्रकार्य Operation

प्रकाश सेल Photo Cell
प्रकाशीय Optical
प्रकृति Character
प्रक्रम Stage
प्रक्षालन Washing
प्रक्षोभ Agitation
प्रघाटन Fabrication
प्रजाल Lattice
प्रतिकर्षित Repelled
प्रतिक्रम Pattern
प्रतिमान Standard
प्रतिमानित Standardized
प्रतिरूप Pattern
प्रतिस्थापन Replace
प्रत्यक्ष Practical
प्रत्यादान Recovery
प्रत्यावर्ती धारा Alternating Current
प्रथमावस्था Initial
प्रदा Output
प्रदाय Feed
प्रदाय शिर Feeder Head
प्रदेश Zone
प्रद्रावण Smelting
प्रधि Rim
प्रघूनन विधि Puddling Process
प्रपूरण Teem
प्रभरण Charging
प्रभार Burden; charge
प्रमाप Standard
प्रमापण (मानकीकरण) Standardization
प्रयुत Million
प्रयुति Micro
प्रयोजन Purpose
प्रयोजित Applied
प्ररचन; प्ररूपण Designing
प्रवरण Selection
प्रवर्त्तक पदार्थ Catalytic Agent
प्रवात भट्टी Blast Furnace
प्रवाह चित्र Flow Sheet
प्रविधि Technique
प्रवेग Accelaration, Velocity
प्रस्तर Bed
प्रस्तरीभूत Stratified
प्रस्थाणु Tower
प्रांतर आयाम Gauge length
प्राकृतिक शक्तियाँ Natural Agencies
प्राथमिक Primary
प्राथमिक धारा Primary Current
प्रादर्श Specimen
प्राविधिक Technical
प्रास्थिति Status

प्रेरक Force, Induction
प्रेरण Pressure
प्रेषण Transmission
प्रोथ, तुंड Nozzle
प्रौद्योगिक Technical

फ

फलक Face
फर्नेस Furnace
फास्फरहरण, निस्स्फुरण Dephosphorization
फिल्म Film
फेन Foam
फ्लक्स, स्यंद Flux

ब

बंधुक Binder
बजरी Coke Breeze
बनाव Formation
बनावट Structure
बभ्रु Brown
बभ्रु रंग Amber Colour
बल Strength
बहुतलीय Polyhedral
बाजू Side
बिन Bin
बिलेट Billet
बिल्लौरी पत्थर Quartz
ब्रि० उ० मा० British Thermal Unit
बीड़ Cast Iron
बुझाना Quench
ब्लूम Bloom

भ

भंग Fracture
भंगुर; भंजनशील Brittle
भँवर धारा Eddy Current
भार Weight, burden
भारी खनिज तेल Heavy mineral oil
भारी माध्यम विलगन Heavy media separator
भित्ति Wall
भूकम्पलिख Siesmograph
भूगत Earthed
भूभौतिकी Geophysics
भूमिति Geometry
भूरसायन Geochemistry
भूयुक्त Earthed
भेद्यता Permeability
भौतिकी Physics
भौमिकी Geology
भौमिकीय Geological

म

मंचक Platform

मंडना Layout
मंडल Zone
मज्जक Plunger
मध्यवर्ती Interim
मणिभ Crystal
मणिभीकरण का पानी Water of crystallization
मणिभीय Crystalline
मांडणी Layout
मापक Meter
मापनी Scale
मारटेम्परन Martempering
मिल स्केल Mill Scale
मिश्रक Mixer
मुख Opening
मुद्र Print
मूषा Crucible
मूसल Ram
मेन्ड्रिल Mandril
मेलीय तत्त्व Alloying elements
मोर्चा लगना Rusting

य

यन्य बिन्दु Yield point
यन्त्रीकरण Mechanization
यन्त्रन Machining
यमन (दे० नियमन)
यव परिमा Grain Size
यशदीकरण, जस्तांबरन Galvanizing
यशद लोह Galvanized Iron
यान्त्र वार्तकी, यांत्रिक अभियांत्रिकी Mechanical Engineering
यौगिक Compound

र

रंध्री Porous
रक्त-तप्त Red hot
रचक Component
रचना Construction
रचिति Structure
रम्भाकार Cylindrical
राष्ट्रीय धातुकीय अनुसंधानशाला National Metallurgical Laboratory
रासायनिक संगठन Chemical Composition
रासायनिक समास Chemical Composition
रूढ़ विधि Conventional method
रूपान्तर बिन्दु Transformation point
ऋणद्वार Cathode
रेखन Diagram
रेखी Drawing

रेडियोसक्रिय Radio Active
रेती File
रेशे Fibres
रोध, रोधन Resistance
रोध, रोधक Resistant
रोमश Hair Line

ल

लंगर Anchor
लक्षण Feature
लघूयन Relieving
लघ्वन (अपचयन, अवकरण) Reduction
लब्धि Yield
लांस Lance
लागन Application
लिगनाइट Lignite
लेपी Pasty
लोष्ट Lumps

व

वंग, त्रपु Tin
वरीवर्त Turbine
वर्ग Group
वर्चसीय Potential (energy)
वर्णक्रमदर्शी Spectroscope
वर्तिकाएं Fibres
वर्तुल Globules
वलयाकार Ring-shaped
वलित Wrinkled
वलिमत, पनारीदार Corrugated
वयस्थापन (वय: काठिन्य) Age-hardening
वस्तु Matter
वाचन Reading
वातयम Damper
वातीय, वायवीय Pneumatic
वायुचाप Atmosphere
वायुनल (क्षिप) Tuyere
वाल्व Valve
वाष्पवरीवर्त Steam Turbine
वाष्पशील Volatile
विकर्ण Diagonal
विकर्षण Distortion
विकार Strain
विकेन्द्रित Eccentric
विक्षय Erosion
विक्षेपण Deflecting
विघर्षण Wear
विचलन Deflection
विचरण Variation
विचूर्णक, मणिभ Crystal
विच्छेदन Electrolysis
विजवन Retardation
विजालक Filter
विजातीय Gangue

वितान बल Tensile Strength
विदोहन Exploitation
विद्युत चुंबकीय Electromagnetic
विद्युतीय नेत्र Electric eye
विद्युदग्र Electrode
विधि Process
विंच Winch
विन्यास Arrangement, structure
विबंधन Decomposition
विभंग Fault, Fracture
विभंजन Break-down
विमध्य Eccentric
विमा Dimension
विमोटन Torsion
वियवन Dissociation
वियुक्तक Separator
विरामदंड Stopper rod
विरूपण Deformation
विलग-कर्त्ता; विलगकारक, विलग-कारी Separator
विलगन Separation
विलयन Solution
विलायित संधि (संधानित जोड़) Welded joint
विलीन Merge
विलोड़न Stirring

विवर Opening, Fissure
विवर्ता Trunnion
विवृत Open
विशालन Magnification
विशेषिका Specification
विषमांग Heterogeneous
विसरण Diffusion
विस्तार Extent
विस्थापन Displacement
वीज, विद्युत Electricity
वृत्ति Practice
वेगस्वी Possessing high speed
वेगीय शक्ति Kinetic Energy
वेल्डन (दे० संधान) Welding
वेल्ल Reel
वेश्म Chamber
वैज वार्तकी Electrical Engineering
वैम Dimension
वोल्टता Voltage
व्यध Drill
व्यय, खपत Consumption
व्यवहार्य Practical
व्युत् क्रमिक Reciprocating

श

शंकु Cone

शंकु और कटोर विन्यास Cone and Cup arrangement
शक्ति Power
शक्ति मद्यसार Power Alcohol
शीकरन Spraying
शीतलन Cooling
शीतलहानित Cold short
शीर्ष Top
शीर्ष स्फरित Big-end-up
शुष्कन Drying
शेष सिलिकन Residual silicon
शोधन Refining
शोधनी Refinery
श्रेणी Series
श्यान Viscous
श्लिष Gelatinous

स

संकणन Flocculation
संकालन Addition
संकिर, संकिरण Rake
संकुल Complex
संकेन्द्रण Concentration
संकेन्द्रित Concentric
संकेत Signal
संक्षयित करना Corrode
संक्षय Corrosion
संक्रमण काल Transition Period
संख्यायन, सांख्यिकी Statistics
संग्रह Collection
संघटक Constituent
संचय Stock
संजटित Complicated
संतनन (अखंडता) Continuity
संतल Level
संतुलन Balancing
संतृप्त Saturated
सत्वर Prompt
संधर Clip
संधानी, संधानक Foundry
संधार Frame
संधारण Maintenance
संधि Joint
संपरिवर्तन Modification
संपिंडन Solidification
संपीडन शक्ति Compressive strength
संपीडित Compressed
संपुंज Sinter
संप्लवन Sublimation
संभरण Supply
संमर्दन Crushing
संमुद्रण Sealing
संयंत्र Plant
संयुक्त Integrated

संरचना Structure
संवपन Casting
संवह, रेडियो Radio
संवेद्य ऊष्मा Sensible heat
संवेष्टन Packing
संशोधन Modification
संश्लेषण Synthesis
संहति Mass, System
सघन Dense
सज्जन Preparation
सधातु Metalliferrous
समंजन Adjustment
समतल Plane
समतापीय Isothermal
समधिक Additional
समवरोध Block
समांगता Homogeneity
समास Formula; Composition
समित्र Plane
समूह Group
समृद्ध Rich
सरंस Amalgam
सर्पिल Helix
सर्वेक्षण Survey
सविराम Intermittent
सांद्र Concentrated
सांद्रण Concentration
सांद्रीकरण Solidification
साद Sinter
सादन प्रकार्य Sintering operation
साधित्र Apparatus
सापेक्ष Relative
सामान्यीकरण Normalisation
सारणी Table
सिघ्म Pitch
सीमा Boundry
सीमेंटन Cementation
सीवन Seam
सुखनिज, अयस्क Ore
सुघट्य Plastic
सुतथ्यत: Accurately
सुद्रवण Eutectic
सुद्राव Eutectoid
सुवाष्पी पदार्थ Volatile matter
सुषिर जीव Sponge
सुषिरत्व Porosity
सुषिर Hollow
सुस्यन्द Viscous
सुहागा Borax
सूक्ष्म भाजित Finely divided
सूप Slide
सेचन Sprinkling

सैत (जनपद) आभियंत्रिकी Civil Engineering
सैथिल्य Hysterisis
सोल्डरन, टाँकन Soldering
स्रुव परीक्षण Spoon-test
स्कन्द, कमानी Spring
स्केब (खर्जु) Scab
स्केल्प Skelp
स्तम्भ Pillar
स्तर शास्त्र Stratiography
स्तरीभूत Stratified
स्थितिज Potential (energy)
स्थात्र Station
स्थानीय Local
स्थूल Course, Macro
स्थैर्य Stability
स्निग्धीकरण तेल (स्नेहक) Lubricating Oil
स्पंदन Vibration
स्फट Crystal
स्फटिक Quartz
स्फुरण Phosphorisation
स्यंद (फ्लक्स, द्रावक) Flux
स्रावण Distillation
स्रोत Source
स्वयमेव Automatically
स्वाग्रह Elasticity

ह

हत इस्पात Killed steel
हनु Jaw
हलका Relieve
हस्तन Handling

पारिभाषिक शब्दावली

अँग्रेजी से हिन्दी

A

Abrasion घृष्णा, अपघर्षण
Abrasive अपघर्षक
Acceleration (प्रवेग), त्वरण
Accurately सुतथ्यत:
Addition संकालन
Additional समधिक
Adjustment समंजन
Age-hardening वय:काठिन्य
Agent अभिकर्त्ता
Agitation प्रक्षोभ
Air-conditioned वातानुकूलित
Alignment एकरेखण
Alternate एकान्तरिक
Alternating Current प्रत्यावर्ती धारा
Allotropic अपररूप
Amalgam संरस
Amber-Colour बभ्रु रंग
Amorphous अकेलास, अनाकार
Ampere ओघ, द्युवहि
Amphoteric उभयधर्मा
Anchor लंगर
Annealing अभितापन
Apparatus साधित्र, उपकरण
Application लागू करना या होना
Apply प्रयोजित करना, लगाना
Arc चाप
Arched चापरूप
Armour कवच
Arrangement विन्यास
Asbestos अदह्
Association परिसंस्था
Atmosphere वायुचाप
Austempering आसटेम्परन
Automatically स्वयंमेव
Axis अक्ष

B

Balancing सन्तुलन
Balling कन्दुकन
Batch घाण
Bath कुंभ
Beam धरणी, धरन
Bed प्रस्तर

Beneficiation उपकृति
Big-end-down अधः बृहदन्ती, नितल स्फारित
Big-end-up ऊर्ध्व बृहदन्ती, शीर्ष स्फारित
Billet बिलेट
Billion अरब
Bin बिन
Binder बंधुक
Biology जैविकी
Blast Furnace प्रवात भट्टी
Blister Steel छाले युक्त इस्पात
Blistered Steel छालित इस्पात, छाले युक्त इस्पात
Block समवरोध, गुटका
Blue Brittle Range नील भंगुर परास
Blue Print नील मुद्र
Body काय, पिंड
Borax सुहागा
Bore परिवेध
Bosh उदर
Bottom नितल
Boundry परिबन्ध, सीमा
Brazing ब्रेजिंग
Break-down विभंजन
Briquette टिकिया, इष्टिका
British Thermal Unit ब्रिटिश ऊष्मामापक
Brittle भंजनशील, भंगुर
Brown बभ्रु, कपिश
Burden भार, प्रभार
Burner ज्वालक
Bye-product उपजात

C

Cake पिंड
Calcination निस्तापन
Calcined निस्तप्त
Calculation परिगणन
Calorie केलरी, ओषक
Calorific Value ऊष्म दायकता, उषंकरी अर्हा, ऊष्म अर्हा
Capacity धारिता, समाई, क्षमता
Carbon कार्बन
Carbonaceous कार्बनमय
Case केस
Case Carburize केस-कार्बनित
Campaign आन्दोलन
Casting संवपन
Cast Iron बीड़, कान्ति लोह
Catalytic Agent प्रवर्त्तक पदार्थ, आवेजक, उत्प्रेरक
Catcher ग्राहक, धारक
Cathode ऋण द्वार

Cavity कोटर, गुहा
Cementation सीमेन्टन
Centrifugal Pump अपकेंद्र उदंच (पम्प)
Chamber वेश्म
Char आदहन
Character प्रकृति
Checker चैकर
Chemical Composition रासायनिक संगठन, रासायनिक समास
Chilling अभिशीतन
Circulation चक्रण
Circumference परिधि
Civil Engineering (सैत वार्तकी, जानपद आभियात्रिकी)
Clip संधर
Coarse स्थूल
Cohesion आसंग, संसंजन
Coiled कुंडलित
Coke Breeze बजरी, छर्री
Cold Short शीतलहानित
Collar कालर
Collection संग्रह
Combustion दहन
Complicated संजटित
Complex संकुल
Composition समास
Compound यौगिक
Compressive Strength संपीडन शक्ति
Concave अवतल
Concentrated सान्द्र
Concentration सान्द्रण, संकेन्द्रण
Concentric संकेन्द्रित
Conditioning उपाधीयन
Conductivity चालकता
Cone शंकु
Cone and Cup arrangement शंकु और कटोर विन्यास
Consolidated पद्महित
Constant अचर
Constituent घटक, संघटक
Construction रचना
Consumption व्यय, खपत
Content आधेय, अंश
Continuity (सन्तनन), सांतत्य, निरन्तरता, अखंडता
Conventional Method रूढ़ विधि
Convex उतल
Cooling शीतलन
Core कोर, आन्तरक
Corner कोण

Corrode संक्षय (संक्षयन)
Corrosion संक्षारण, (संक्षय)
Corrosive संक्षारित
Corrugated वलिमत् (पनारीदार)
Cost परिव्यय
Cosmigony उत्पत्ति शास्त्र
Covering आवरण, आच्छादन
Creep निसर्प
Critical Point अश्रिविन्दु
Cross Section अनुप्रस्थ खंड
Crucible घरिया, मूषा
Crushing दलन, संमर्दन
Crusher विचूर्णक
Crystal मणिभ, स्फट
Crystalline मणिभीय
Cubic घनाकार
Cup कटोर
Cup and Cone arrangement कटोर और शंकु विन्यास
Current धारा
Cutlery कटलरी
Cutting कर्तन
Cycle चक्र
Cyclic चक्रक्रम
Cylindrical रम्भाकार

D

Damp परिमन्द, अवमन्द
Damper वातयम
Damping-Capacity अवमन्दन क्षमता
Data दत्त, न्यास
Decomposition विबन्धन
Deduction निगमन
Deep Drawing गुरु उद्रेखन
Deflection विक्षेपण, विचलन
Deformation विरूपण
Degree अंश
Dense सघन
Dephosphorization निःस्फुरण
Deposit निक्षेप, जमाव
Descend अवरोहण
Design प्ररचन, प्ररूपण
Desulphurization गंधकहरण
Devaluation अवमूल्यन
Diagonal विकर्ण
Diagram रेखी-चित्र
Diffusion विसरण
Dilute तनु
Dimension विमा, वैम
Dis-continuity असंततता, असांतत्य
Displace विस्थापन
Disposal अपवहन
Dissipation निप्रयन

Dissociation वियवन
Distillation स्रावण
Distortion विकर्षण
Double Sheer Steel द्विभाजित इस्पात
Down-comer अधोगामी
Drass छीजन
Drastic उच्चण्ड
Drawing रेखन, निरेख, उद्रेखन
Dressing परिष्करण
Drill व्यध
Drying शुष्कन
Ductility तन्यता
Duplexing द्वियोगन, द्वैधन

E

Earthed भूगत, भूयुक्त
Eccentric विकेन्द्रित, विमध्य
Eddy-Current भँवर-धारा
Efficiency तत्परता, निष्पत्ति, दक्षता
Ejection निष्कासन
Elasticity स्वाग्रह
Electrical वैद्युत, वैज
Electric Eye विद्युतीय नेत्र
Electricity वीज, विद्युत्
Electrode विद्युदग्र
Electrolysis विद्युत् विच्छेदन
Electro-magnetic विद्युत चुंबकीय
Electronic rearrangement इलेक्ट्रानीय पुनर्विन्यास
Elongation दीर्घन
Endless अन्तहीन
Endless-Chain अन्तहीन शृंखला
Energy शक्ति
Entrap पाशन
Erosion विक्षय
Estimation परिमापन
Etching निरेखन
Eutectic सुद्रवण
Eutectoid सुद्राव
Evolution निकास; विकास
Excess आधिक्य
Expert तज्ज्ञ
Exploitation विदोहन
Extent विस्तार
Extraction निस्सारण

F

Fabrication प्रघाटन, परिघाटन
Face फलक
Factors घटक
Factory निर्माणिका, निर्माणी
Fault विभंग
Feature लक्षण
Feed प्रदाय

Feeder Head प्रदाय शिर
Fettle आवासित
Fibres वर्तिकाएँ, रेशे
File रेती
Film फिल्म, पटल
Filters विजालक, गालनी
Filtrate निस्यन्द
Finely divided सूक्ष्म भाजित
Finish कृतता
Fissure विवर
Flakes धारियाँ
Flexible आनम्य
Flocculation संकणन, लोष्टन
Flow sheet प्रवाह चित्र
Fluidity तरलता
Flushing उद्धावन
Flux फ्लक्स, स्यन्द, द्रावक
Foam फेन
Force प्रेरक
Forging ताप कुट्टन
Formation करण, बनाव
Formula समास
Fossil पुराजीव
Foundry संधानी
Fracture भंग, विभंग
Frame संधार
Frequency आवृत्ति
Fuel Technology इन्धनी, ऐंधनी
Fumes धूम
Furnace फर्नेस, भट्ठी

G

Galvanized Iron जस्तावंरित, लोह
Galvanizing जस्तांबरन, यशदीकरण
Gangue गैंग, विजातीय
Gauge length प्रास्तर आयाम
Gelatinous श्लिष
Geo-chemistry भूरसायन
Geodesy ज्यामिति
Geological भौमिकीय
Geology भौमिकी
Geometry भूमिति
Geophysics भूभौतिकी
Globule वर्तुल
Grade श्रेणी
Graded क्रम्य
Grain कण
Grain Size यवा
Graph आलेख
Gray धूसर
Groove खाँचा
Group वर्ग, समूह

H

Hair line रोमश
Hammering अयोघनन
Handle हस्तन
Hearth तंदूर
Heat ऊष्मा
Heat Treatment तापोपचार
Heavy media separation माध्यम विलगन, भारी
Heavy mineral oil भारी खनिज तैल
Helix सर्पिल
Heterogeneous विषमांग
High lines ऊँची पटरी
Hole गुहा
Hollow सुषिर
Homogeneity समांगता
Hood छदिका
Hopper अधोवाप
Horizontal क्षैतिज
Hot short गरम हानित
Hump ककुद
Hydrogen उदजन, हाइड्रोजन
Hydrogenation उदजनन,
Hydrolysis उदच्छेद, उद्विच्छेदन
Hyper eutectoid अत्य सुद्राव
Hypo eutectoid उप सुद्राव
Hysterisis शैथिल्य

I

Igneous आग्नेय
Immersed निमज्जित
Impression आरोपण
Impure अशुद्ध
Incandescent उत्तापदीप्त
Inclined अभिनत
Inclusion अन्तरावेश, अन्तर्भूत
Indentation दन्तन, दंतुरीकरण
Induction प्रेरक
Inert अक्रिय
Ingot इन्गट, पिंडक, सिल
Ingotism इन्गटन
Initial प्रथमावस्था
Input आदा
Integrated संयुक्त, अनुकलित
Intensity अत्यन्तता
Interface अन्तरानीक
Interim मध्यवर्ती
Intermittent सविराम
Internal आन्तरिक
Interstitial अन्तरालीय
Intimate गाढ़
Intricate दुर्गम
Ion दल
Isothermal समतापीय

J

Jaw हनु
Joint संधि, जोड़

K

Killed steel हत इस्पात
Kinetic Energy वेगीय शक्ति (गतिज ऊर्जा)

L

Laminated पटलित
Lance लान्स
Land स्थल
Lattice प्रजाल
Lay-out मंडना, मांडणी
Leakage क्षरण
Level संतल
Lighting दीपन
Lignite लिगनाइट
Linear velocity अनुरेख प्रवेग
Liquidus तरलक
Local स्थानीय
Locomotive चलगंत्र
Lower अधर
Lubricating oil स्निग्धीकरण तैल, स्नेहक
Luminous दीप्त
Lumps ढेले, लोष्ट

M

Machining यंत्रन
Macro स्थूल
Magnet चुंबक, कर्षुक
Magnification विशालन
Maintenance संधारण
Mandrel मेन्ड्रिल
Martempering मारटेम्परन
Mass संहति
Matter वस्तु
Mechanical Engineering यान्त्र वार्तकी, यान्त्रिक आभियान्त्रिकी
Mechanism कला विन्यास
Mechanization यन्त्रीकरण
Melter द्रावक
Mercury पारद
Merge विलीन
Metalliferous सधातु
Metallurgy धातुविज्ञान, धातुकी
Meter मापक
Method रीति
Micro प्रयुति
Microscope अण्वीक्ष, सूक्ष्मदर्शी
Million प्रयुत
Mill scale मिलस्केल, चोया
Mineral oil खनिज तैल

Minimum निम्नतम
Mixer मिश्रक
Mobility चंचलता, चलिष्णुता
Modernization अभिनवीकरण
Modification संपरिवर्तन, संशोधन
Motor चलित्र
Motor car गंत्री
Mud gun पंकगन

N

National Metallurgical Laboratory राष्ट्रीय धातुकीय अनुसंधानशाला
Native metal आदि धातु
Natural agencies प्राकृतिक शक्तियाँ
Naval armament नावीय योधन सज्जा
Negative नास्ति
Nick खाँचा
Nipple चूचुक
Normalization सामान्यीकरण
Nozzle प्रोथ

O

Octahedral अष्ट फलकीय
Off पृथक्
Oil तेल
On लग्न
Opaque अपारदर्शी
Open विवृत
Opening मुख, विवर
Operation प्रकार्य, उपक्रम
Opposite अभिमुख
Optical काशिकीय, प्रकाशीय
Ordinate कोटि
Ordnance आयुध
Ore ओर, सुखनिज, अयस्क
Organic जैव
Orientation अनुस्थापन
Oscilloscope दोलन लेखी
Outlet निष्क्रमण
Output प्रदा
Oven ओवन
Overlapping अतिछादन
Oxidation आक्सीकरण
Oxide आक्साइड, ओषिद

P

Pack पैक, संवेष्टन
Pad तल्प
Passage दर, पारण
Pasty लेपी
Patch सिध्म
Pattern प्रतिक्रम, प्रतिरूप
Perfection पूर्णता

Periodic Table आवर्त्त सारणी
Peritectic परिद्रवण
Permeability भेद्यता
Phase कला
Phenomena परिवृत्त
Photo cell प्रकाश सेल
Physics भौतिकी
Pickle अम्ल मार्जन
Pigging पिगन
Pig Iron पिग लोह
Pillar स्तंभ
Pipe पाइप, नाड
Pit side अवपातक
Plane समतल, समित्र
Plant पादप, संयन्त्र
Plastic प्लास्टिक, सुघट्य
Plate पट्ट
Platform मंचक, मंच
Plot आलेखन
Plug निग
Plunger मज्जक
Pneumatic वातीय
Pointed कंटाग्र
Polyhedral बहुतलीय
Pool आशय, पल्वल
Porosity सुषिरत्व
Porous रंध्री
Port पोर्ट
Possessing high speed वेगस्वी
Potential (energy) वर्चसीय, स्थितिज
Powder (क्षोद) चूर्ण
Power तरस्व
Power alcohol शक्ति मद्यसार
Power consumption तरस्व विनियोग
Practical व्यवहार्य, प्रत्यक्ष
Practice वृत्ति
Precipitate परिपात, अवक्षेप
Precipitation परिपातन
Preparation of charge चार्ज का सज्जन
Press पीड
Pressing पीडन
Pressure प्रेरण, दबाव
Pressure weld दबाव वेल्ड
Primary प्राथमिक
Primary current प्राथमिक धारा
Print मुद्र
Process विधि
Production उत्पादन
Protection त्राण
Puddling process प्रधूनन विधि
Pulsation स्पन्दन

Pump उदंच, न्यंच
Purification पूतीकरण

Q

Quality अर्हता
Quartz स्फटिक, बिल्लौरी पत्थर
Quench बुझाना, निर्वापण

R

Radio active रेडियो सक्रिय, तेजोद्गिरण
Radiography किरण लेखन
Rake किरण, संकिर
Ram कूटना, मूषल
Range परास, परिसर
Rearrangement पुनर्विन्यास
Rebound उत्प्लवन
Recalesence पुनर्दीप्तन
Recarburization पुनर्कार्बनन
Reciprocating व्युत्क्रमिक
Record अभिलेखन
Recovery प्रत्यादान, पुनर्ग्रहण
Recuperate पुनरापण
Recuperator पुनराप्त्र
Reduction लघ्वन, अवकरण, अपचयन, लघ्वीकरण
Reel वेल्ल, गिट्टी
Refinery शोधनी, परिष्करणी
Refining शोधन
Reflect परावर्त
Regeneration पुनर्जनन
Regulate यमन, नियमन
Relieve लघूयन, हल्का, उन्मोचनक
Removable अपनेय
Repel प्रतिकर्षित
Rephosphorization पुनःस्फुरण, पुनःफ़ास्फरन
Replace प्रतिस्थापन
Reproducible पुनरुत्पाद्य
Research गवेषणा
Residual Silicon शेष सिलिकन
Resistance रोध, रोधन
Retardation विजवन
Rim प्रधि
Ring shaped वलयाकार
Roasting जारण
Rotation घूर्णन, परिभ्रमण
Runner धावक
Rusting क्षारण, मोर्चा लगना

S

Sample न्यादर्श
Saturate संतृप्त
Scab स्कैब, खर्जु
Scale मापनी
Scrap क्षेप्य
Scratch आखुरण

Seal संमुद्रण
Seam सीवन
Seamless असीवन
Secondary द्वितीयक, गौण
Secondary current परिवर्ती धारा
Sedimentation निसादन
Segregation एकत्रन
Selection प्रवरण
Semi-killed अर्धहत
Semi-steel अर्ध इस्पात
Sensible heat संवेद्य उष्मा
Separation विलगन, विलगकरण
Separator विलगकर्त्ता, विलगकारक, विलगकारी, वियुक्तक
Series श्रेणी
Shaft चानक, (ईषा)
Shape आकार
Sharpner उत्तिज
Shell कर्पर
Shells कवच
Shield परिरक्षक, कवच
Shock आघात, धक्का
Shrinkage आकुंचन
Siesmograph भूकम्प लिख
Signal संकेत
Single sheer steel एकभाजित इस्पात

Sinter साद, संपुंज
Size परिमा
Skeleton पंजर
Skelp स्केल्प
Skim काछना
Skip स्किप
Skull करोटि
Slide सृप
Smelting प्रद्रावण
Soldering सोल्डरन, टाँकन
Solidification संपिंडन, सान्द्रीकरण
Solidus संपिंडक
Solute विलेय
Solution विलयन
Source स्रोत
Specification विशेषिका
Specimen प्रादर्श
Spectroscope वर्णक्रमदर्शी
Speed जव, चाल
Spheroidization गोलाभन
Sponge सुषिर, सां
Spoon test स्रुव परीक्षण
Spout ओष्ठ
Spray शीकरन
Spring स्कन्द (कमानी)
Sprinkle सेचन
Stability स्थैर्य

Stage पद, चरण, प्रक्रम
Stainless steel अकलुष इस्पात, निष्कलंक इस्पात
Standard प्रतिमान, प्रमाप
Standardization प्रमापण
Standardized प्रतिमानित
Station स्थात्र
Statistics संख्यायन, सांख्यिकी
Status प्रास्थिति
Steam Turbine वाष्प परीवर्त
Stick निर्यासन
Stiffness कड़ापन
Stirring विलोड़न
Stock संचय
Stopper rod विराम दंड
Strain विकार, आयास
Stratified प्रस्तरीभूत, स्तरीभूत
Strip पट्टी
Stripping अपखंडन
Structure बनावट, रचिति, संरचना, विन्यास
Sublimation संप्लवन, ऊर्ध्वपातन
Subsidence अधोगमन
Sub surface अधस्तल
Successive पूर्वापर
Sulphide सल्फाइड, गंधकीय
Super-heated अति तप्त
Super-sonic कर्णातीत
Supply संभरण
Surface tension तलतनाव
Survey सर्वेक्षण
Suspended निलंबित
Swirling घुमावदार
Synthesis संश्लेषण
System संहृति

T

Tap त्रोटि
Tar तारकोल
Technical प्राविधिक, प्रौद्योगिक
Technique प्रविधि
Teem ढलन, प्रपूरण, अवपातन
Tempering टेम्परिंग
Tensile strength तन्य बल, वितान बल
Test परीक्षण
Tilting अभ्यानम्य
Tin वंग, त्रपु
Titration अनुमापन
Tool औजार
Top उद्ध, शीर्ष
Toughness चर्मलता
Tower प्रस्थाणु
Transformation point परिवर्त बिन्दु, रूपान्तर बिन्दु

Transformer ट्रान्सफार्मर, परिणामक
Transition period संक्रमण काल
Transmission प्रेषण
Treatment उपचार
Trickle आश्चोतन
Triplexing त्रियोगन, त्रैधन
Trumpet तुरही
Trunnion ट्रनियन, विवर्ता
Turbulent velocity आकुल प्रवेग
Tuyere वायुनल, क्षिप
Type प्रकार

U

Ultraviolet पारजम्बु
Underground अधःस्थल
Upgrading उन्नयन
Uphill ऊर्ध्वंग

V

Vacuum निर्वात
Valve वाल्व
Vaporize वाष्पित करना
Variation विचरण
Velocity प्रवेग
Vertebrate पृष्ठवंशी
Vertical उदग्र
Vertically ऊर्ध्वाधरतः
Vibration स्पन्दन
Viscous सुस्यन्द, श्यान
Volatile matter वाष्पशील पदार्थ, सुवाष्पी पदार्थ
Voltage वोल्टता
Volume आयतन

W

Warp टेढ़ा होना
Water of crystallization मणिभीकरण का पानी
Wear and tear विघर्षण और दारण
Welded joint विलायित संधि, संधानित जोड़
Welding संधान
Wild उग्र
Winch विन्च
Workable खननयोग्य, खननीय
Works कर्मक
Wrinkled वलित
Wrought Iron पिटवाँ लोह

Y

Yield लब्धि
Yield point यन्य बिन्दु

Z

Zone प्रदेश, मंडल
Zoology प्राणिकी

अनुक्रमणिका

अंग्रेजी पिगलोह ९६
अंतरानीक १३८, १६५
अग्निरोधक पदार्थ ३१, ३२, ३९, ७४, १९३, दे० 'तापसह'
अति ऊष्मित इस्पात २७०
अति छादन १७४
अत्य सुद्राव २६६, २६९
अधोगामी ३९, ४८, ५०, ७४
अधोवाय ४१
अनीलिंग दे० अभितापन २७८
अनुपातिक सीमा २९२
अनुरेख प्रवेग ७४
अनुस्थापन, मणिभों का २४२
अपखंडन, पिंडकों का २३३, २४४
अपचायक प्रदेश, फर्नेस का, ५६, ५७
अपररूप परिवर्तन ६, २६०
अभितापन २७८-८१
अभ्यानम्य, फर्नेस १५६, २१७, २२१
अमेरिका में हेमेटाइट २८, १४२
अम्लीय बेसेमर विधि ९६, १०३
अम्लीय इस्पात १६८
अम्लीय तंदूर विधि १५८
अयस्क, दे० 'ओर', १९, २०
अयस्क परिष्करण २२
अर्ध इस्पात १२
अर्ध हत इस्पात २२५, २२६
अर्हता, इस्पात की १४२, १६०, १७७, १९९
अलौहिक पदार्थ ९
अवपातक २२३
अवपातनकार्य २२३, २३३
अवमन्दनक्षमता ११
अशुद्धियां २४, २५, २६, ३१, ५४, ६२, ७२, ८४, १०४, ११८, २२३, २८८
अश्रि परास २६८, २७०, २७६, २७८, २८३
अश्रिबिन्दु २५१, २६१, २६८, २६९
अश्रिशीतलन वेग २७१
असंतानी २९६
असीवन इस्पात नली २५७

CO_2 अस्थिरता प्रदेश ५९
आकारन, इस्पात का २४८, २५४
आकुंचन कोटर २२६
आक्सीजन समृद्ध प्रवात ७६
आदि धातु १८
आधार धातु ६
आनम्यता १४६, २०२
आन्दोलन, फर्नेस का ७४
आरोपण २९३
आवर्त सारणी २
आसटेंपरन २८२
आस्टेनाइट २६५, २६७ २६८, २७२, २७४, २७७
आस्ट्रिया १४०, १४१, १४७
इंग्लैण्ड ८४, ८५
इटली में पायराइट का प्रयोग २९
इन्गट ९२, ९३, ११७, २०५, २२२
इन्गटन २४२
इन्जीनियरी धातुएँ २
इस्पात ४, ११, २९७
इस्पात की निसर्पशक्ति २९५
उच्च कार्बन इस्पात १४
उच्च शीर्ष प्रेरणा ७४
'उत्तर धमन' १०५, १३१, १३३
उत्प्लवन २९४
उदंचन संयंत्र ४०, ४९
'उदर' ३९, ४४, ५५
उद्रेखन १३५
उद्ध २३८, २४४
उद्धावनप्रविधि १७६
उप सुद्राव २६९
उपाधीयन १६३, १६८, १९९
'ऊँची पटरी' ४०
'ऊर्ध्वंग प्रपूरण' २३१
ऊष्म अर्हा ३०, ५०
एकभाजित इस्पात ८७
एकरेखण २५४
एक्स-रे २९६
एल० डी० विधि १०३, १०५, १४०, १४२, १४४, १४६, १४७
एस्टन विधि ७८, ८३
ऐसीटिलीन गैस २०४
'ओर' १९, २०, २१, २९, ६०
ओरक्वथन १७५
'ओरन' १७७
कच्चा लोह १०, दे० पिगलोह
कच्चे पदार्थ २१, २५, २७, ५३, १२६, १४७
'कटोर और शंकुविन्यास' ४१
कठोरता २९३
कनाडा २८, १४२
कन्दुकन ८२
कम कार्बन इस्पात १३
करण २७४, २७५

कान्तिलोह १०, 'दे० 'बीड'
कार्बन ११२, ११६, १२७, १७१
कार्बन अग्निरोधक ७४
कार्बन डाई आक्साइड १३७, १७५
कार्बन चाप १००
कार्बन धमन १२०
कार्बन मोनोक्साइड ११६, ११८, १२०
कार्बाइड मलकाल २०४
कैलशियम कार्बाइड २०३
कोक २९, ३८, ४०, ४१, ४४, ५४, ६०, ७१, ११३
कोकीय कोयला २९, ३०, ७२, ७३, १४१
कोबाल्ट २७७
क्यूरी बिन्दु २६१, २६३
'क्वथन' ११४, १२०, १६०, १६१, १६२
क्षारीय इस्पात १६८
क्षारीयविद्युत चापविधि २०४
क्षारीय विधि २१, १२७, १३०, १३३, १५१, १६८
क्षारीय तंदूर विधि १४६, १६९
क्षिप ३८, ४३, ४९, ५५, ७६, १०४, १११, १२९
गंधक २४, ६२, ६९, ८२, ९१, १२६, १२८, १७१, २२४
गंधकहरण ६८, ३०, ५८, ६०, ६१, ६९, ८१, १२८, १२९, १३०, १४६, २०४
गरम कार्यन २५१, २५३
गरम हानित २४
गलन १६१, १७४, १८९, २०१
गलित पिगलोह का परिवहन ६७
गैंग १९, ३०
'गैस पर' (स्टोव) ४८
घरिया विधि ८४, ८९, ९३, ९४, १४९, २०९
चर्मलता ८७, २८२
'चलित्र प्रभाव' २१२
'चानक' ३९, ४०, ४८, ६०
चीन में हेमेटाइट २८
चुम्बकत्व ४, २६१
चुंबकीय स्यन्द २११
'चून-क्वथन' १७२, १७६, १८१
चून पत्थर ३८, ५४, ५७, ६०, १४८, १५७, १७२
चैंकर ९९, १५५
चैंकर जालियाँ ४८
छदिका १४०
'छालेयुक्त इस्पात' ८६
जंग या मोर्चा ७
जर्मनी २८, ९६, १४२, १५५
जलित इस्पात २७०

जलित कोयला ७०
जलीय प्रक्षालन ५२
जापान १४२
जिग्लो परीक्षण २९७
'टंडिश'
टामस गिलक्रिस्ट ९६
टेम्परन (प्रोक्षण) २८२, २८३
ट्रूनियन ११०, १४०
'ट्रापीनास परिवर्तक' १०४, १३५
ट्रापीनास विधि १३७, १३८, १३९
डाइयों का प्रयोग २५७
डोलोमाइट ३१, १२९, १३०, १४० १७५
'ढलवां लोह' १०
ढलाई ९२
तंदूर फर्नेस १५१, १५३, १५६ १७२, २१७
तन्यता १३, १६, १३३, २४९, २९१
तापकुट्टन दे० फोर्जन
तापद क्रिया ६०, ११४, ११९, १३१
तापसह पदार्थ ३१, ३४, ५२, ७५
तापोपचार ४,६ २७०, २७८
ताम्रपोथ १४०
त्रिकला प्रत्यावर्ती धारा १९६
त्रिबिन्दु २६२
त्रैधन २२०
त्रैधविधि २२०
त्रोटन १२५, १२६, २०५, २०७, २१३, २१७, २२३
त्रोटन ओष्ठ १५६
दहन कक्ष ४८
दूषित पदार्थ (गैंग) १९, ३०
द्रुतगति इस्पात ६
द्विबिन्दु २६२
'द्विभाजित इस्पात' ८७
द्वैधन १४२, १५६
द्वैधविधि २१६
धमनयंत्र ४३
धातुओं का उपयोग १
धातुमेल ६, ७, ८, ११, १०१, २१५
धातु विजय २०, २१, २२
धूलिधारक ५२
नाइट्रोजन १०७, १३३, १३४
नार्वे ७१
नितल प्रपूरण २३३
निर्वापण २६८, २७७, २८२
'निष्कलंक (अकलुष) इस्पात' ४, ७, १४
निसर्प २९५
निःस्फुरण १२९, १३१, १४४, १६७, २१९
नील भंगुर परास २५२
नील मुद्र २४९

न्यंच
पंकगन ६७
परिभ्रामी फर्नेस ७०
'परिमाण क्रिया' ११८
परिवर्त्तबिन्दु २५१
पर्लाइट २६४, २६६, २६९, २७०, २७७, २८०
पल्वल २१२
पाइप २२६, २३६
पिग एवं ओरविधि ९९
'पिगन' १७७
पिगलोह १०, २५, २९, ३६, ३८, ४३, ६२, ६३, ६९, ७४, ९९, १२७, १४९, २२४
पिग संवपन यंत्र ६६
पिटवां लोह ११, ७८, ८४, ९९, २९०
पीडतापकुट्टन २५५
पुंजोत्पादन ७६, १४८, २८४
पुनरापण सिद्धान्त २४६
पुनः कार्बनक पदार्थ ११७, ११८, १३२, २१९
पुनर्जनक कक्ष (वेश्म) ९९, १५५, २४६
'पूर्वधमन' १०५, १३०
प्रवात की आर्द्रता ४९
प्रवात भट्टी ३९
प्रक्रिया प्रदेश ५६
प्रक्षोभ २२४
प्रजाल २६१
प्रतिक्रम २४९
प्रतिरूप २४९
प्रधि-इस्पात २१२, २२५, २२७
प्रधूनन विधि ७८
प्रयुतिरीति १८५
'प्रवातपर' ४८
प्रवात भट्टी ३९, १४७
प्रवाह-रेखाएँ २८९
प्रस्थाणु ५२
प्रोथ २३३
फास्फोरस २४, ६३, ८२, १२८, १७१
फिनलैण्ड ७१
फेराइट २६३, २६५, २६६, २६९, २७९
फोर्जन (तापकुट्टन) २५४, २५५
फ्रांस २९, ७०, ९६
फ्लक्स २१, २३, ३०, ३१, ३४, ३५
बहुमूल्य धातु २
बिन ४०
बिलेट ८२, २९६
बीड़ १०, १२, ३९, ६७, ८४, ९२, २३१
बेनाइट २७२, २७४, २८३

बेन्जामिन हृन्ट्समैन ८४, ८९
बेल्जियम २९
बैसेमर ८४, ९४, ९६
बैसेमर इस्पात १३३, १३४, १३५
बैसेमर परिवर्त्तक १०८, ११५
बैसेमर विधि १२३, १२७, १३७
ब्राजील २०, २८
भद्रावती इस्पात का कारखाना ६७, ७०
भारत २८, ६७, ७०, १४२, १४७
मध्यम कार्बन इस्पात १३
मल का अपवहन ६७
मलतृप १८६
मारटेम्परन २८३
मार्टिन वन्धु ९९
मार्टेन्साइट २७१, २७३, २७७, २८३
मिश्र इस्पात ७
मिश्रक १२५, १२६, १३०
मिश्र धातुएँ ३२
'मुक्त प्रवाह ताप' ६१
'मृत अवस्था' ८२
मेल इस्पात १४, १७
मैंगनीज़ ६३, ११३, १२८, १६०, १७०
,, आक्साइड ११७
मैंगनेटाइट २८
यन्यबिन्दु २५०, २९२
यव परिमा २२५, २५२, २५५, २७७
राबर्ट मशेन ९६
रूरकेला १४२
रूस १५५, १७०
रोंलिग २५५
लघुचानक फर्नेस ७३
लघ्वन २, २६, १३८, २०४, २४२
लिमोनाइट २८
लोह ओर ४, २३, २७, ३०, ३६, ४०, ५३, ८१
लोह पायराइट २९
लोह प्रद्रावण २४
लोह मेल ३२, ११७, २२९
लोह मैंगनीज ३३
लोह सिलिकन ३३
लोह-सुखनिज २०
लौहिक पदार्थ ९
वयः काठिन्य १०७, १३३
वर्चसीय ऊष्मा ४४, ५०
वातभाष्ट्र १०, २४
वातीय विधियाँ १०४-१३०
वायु-प्रवात १११
विकेंद्रित परिवर्त्तक १३०
विगंधकीकरण दे० गंधकहरण
वितान-शक्ति १६, १७

विद्युत् चाय फर्नेस १००, १९६
विद्युतीय अवक्षेपक ५३
विभंजन, मिलों में २४५
विलयन हानि ५९
विलियम कैली ९५
विलियम सीमेन्स ९७-१००
विवृत तंदूर फर्नेस १००, १३४, २१६, २२३
विवृत तंदूर विधि ९६, १३४, १४९ १५०, १९७, २१६
विशेषिका २२१, २४०
वुत्स इस्पात ८४
वेल्जियम ८४
वेल्ल २५७
व्युत्क्रमिक इंजन ४३
शीतलकायन २५२, २५६
शीतल पीडन २५७
शीतल हानित २४
शीर्ष प्रपूरण २३३
शेफील्ड १०१, २०९
'शेल' ३०
'शेष सिलिकन' ११२
शोधन २०२
'श्याम मलकाल' २०३
श्रान्ति सीमा २९४
'श्वेतमल काल' २०४
संकाली पदार्थ ३३
संधर ९३
संधानी २६, ७१, १०४, १३६, १९०, १९७, २५०
संमर्दनशक्ति, कोककी ५४
संवपन १३६, १३९, १९७, २२२, २४८, २४९
संवपित २९६
संवेद्य ऊष्मा ४४, ७३, ७६
समित्र १७८
सर्पवक्र २७५, २७७
'सर्पवक्र की नासिका' २७७, २८२
साद ५३, ६५
सिडेराइट २९
सिलिकन ६२, ११२, १२७, १७०
सिलिकन धमन ११९
सिलिका ईंट १५८, १९६
सिलिको मैंगनीज ३३
'सीमेन्ट इस्पात' ८६, ८७
'सीमेण्टन विधि' ८४, ८५
सीमेन्टाइट २६४, २६५, २६७
सीमेन्स ९९, १००
सीमेन्स मार्टिन विधि १००
सुखनिज १९ दे० 'ओर'
सुद्रवण २६७
सुद्राव २६३, २६९, २७५
'सोखनकूप २४४, २४५, २४६
स्कन्द, घड़ियों के ८९

स्किप ४१
स्पंजी लोह ५७
स्पीजेल ३४
स्नुव १३२, १६१, १७८, २०४
स्यंद-दे० 'फ्लक्स'
हत इस्पात २२६, २४३
'स्वतः समंजक' १६५
हम्फ्रीडेवी १००
हेमेटाइट २७, २८
हेरोल्ड १८९
" फर्नेस १९३